janvier/février 2020 | n° 481 | www.elektormagazine.fr

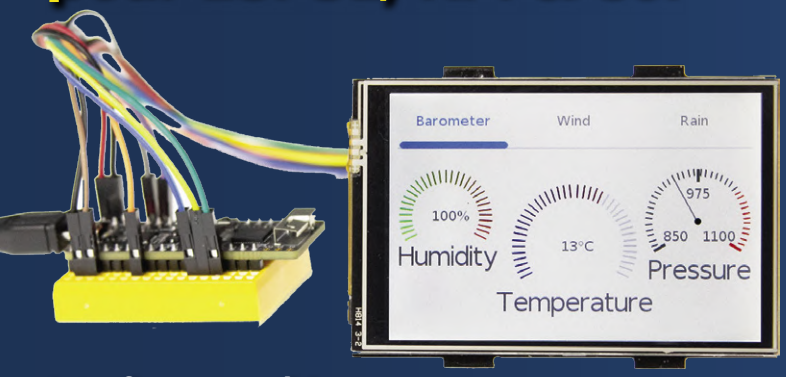
elektor

DÉCOUVRIR ⊣⊢ CRÉER ⊣⊢ PARTAGER

variateur pour moteur monophasé 1 kW

Trois modes : commutation de cycle intégral, découpage de phase en début ou en fin de demi-période

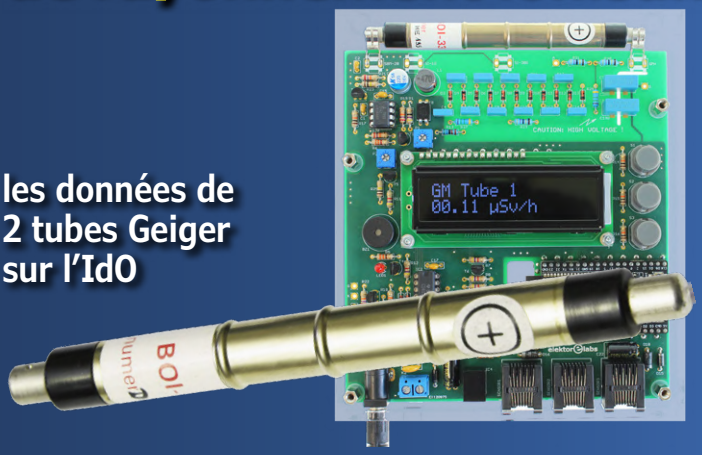
GUI tactiles pour ESP32, RPi & Co.



interfaces graphiques avec la bibliothèque LittlevGL

station de surveillance de rayonnement ionisant

les données de 2 tubes Geiger sur l'IdO



minuterie d'infusion de thé ⊣⊢ filtrer les rebonds d'un contact ⊣⊢ Capaci-Meter : affichage Dekatron ⊣⊢ microphones MEMS ⊣⊢ filtres analogiques : quelques bases ⊣⊢ afficheur tactile rapide pour Raspberry Pi ⊣⊢ multitâche avec l'ESP32 ⊣⊢ premiers pas avec RISC-V ⊣⊢ Sigfox : un renard sur l'internet ⊣⊢ BANC D'ESSAI : station de soudage ⊣⊢ véhicules autonomes : où nous mènent-ils ? ⊣⊢ Lego® électronique 1968 ⊣⊢ améliorer les phares de son auto

ISSN 0181-7450

(B) 16,50 € • (CH) 29,00 FS • (CAN) 20.99 $ca • (And) 15,50 €
DOM surface 16,50 € • DOM avion 16,90 € • N Cal/S 2000 cfp

L 19624 - 481 - F: 15,50 € - RD

Rémy Mallard explique
les oscilloscopes
anciens & modernes
pour les débutants

NOUVEAU LIVRE

Points forts

- Livre orienté vers la pratique, avec « juste ce qu'il faut » de théorie
- Traite aussi le sujet des oscilloscopes numériques modernes
- Ouvrage utile avant l'achat pour guider le choix d'un oscilloscope
- Manuel d'utilisation à consulter régulièrement après l'achat
- Comme dans ses précédents livres, l'auteur partage sa bonne humeur communicative et sa grande expérience

elektor

En électronique, si l'on veut progresser dans le plaisir et dans la compréhension, il faut un oscillo. Comment le choisir ? À peine cette question-là aura-t-elle trouvé sa réponse, il en viendra d'autres qui se résument ainsi : comment se servir de l'oscilloscope de telle sorte que ce qu'il affiche corresponde à la réalité des signaux ?
Dans ce livre, Rémy Mallard, répond à ces questions.

Auteur :	Rémy Mallard
Pages :	375 (en couleur)
Format :	17 x 23,5 cm (broché)
ISBN :	978-2-86661-208-5
Prix :	37,50 €

Pour commander ce livre :
www.elektor.fr/19124

43ème année,
n° 481 – janvier/février 2020

ISSN 0181-7450
Dépôt légal : janvier 2020
CPPAP 1120 T 83713

Directeur de la publication : Donatus Akkermans

Elektor est édité par :
PUBLITRONIC SARL
c/o Regus Roissy CDG
1, rue de la Haye
BP 12910
FR - 95731 Roissy CDG Cedex

service@elektor.fr

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

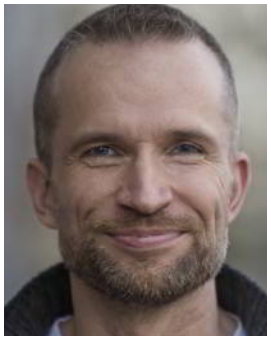
Banque ABN AMRO : Paris
IBAN : FR76 1873 9000 0100 2007 9702 603
BIC : ABNAFRPP

Publicité :
Margriet Debeij
Tél. : +49 (0)241 955 09 174
margriet.debeij@elektor.com

DROITS D'AUTEUR :
© 2020 Elektor International Media B.V.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 -art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425).
Certains circuits, dispositifs, composants, etc. décrits dans cette revue peuvent bénéficier de droits propres aux brevets; la Société éditrice n'accepte aucune responsabilité du fait de l'absence de mention à ce sujet. Conformément à l'art. 30 de la Loi sur les Brevets, les circuits et schémas publiés dans Elektor ne peuvent être réalisés que dans des buts privés ou scientifiques et non commerciaux. L'utilisation des schémas n'implique aucune responsabilité de la part de la Société éditrice. La Société éditrice n'est pas tenue de renvoyer des articles qui lui parviennent sans demande de sa part et qu'elle n'accepte pas pour publication. Si la Société éditrice accepte pour publication un article qui lui est envoyé, elle est en droit de l'amender et/ou de le faire amender à ses frais; la Société éditrice est de même en droit de traduire et/ou de faire traduire un article et de l'utiliser pour ses autres éditions et activités, contre la rémunération en usage chez elle.

Imprimé aux Pays-Bas par
Pijper Media – Groningen
Distribué en France par M.L.P.
et en Belgique par A.M.P.



Une décennie, un grand écart

Pour l'électronique, la décennie qui s'achève aura été celle de la montée de l'internet des objets, avec la rivalité entre *SigFox* (p. 88) et *LoRa* (p. 86). Demain il faudra compter avec les nouvelles architectures de processeurs telles que RISC-V. Désormais les concepteurs veulent des applications prêtes à l'emploi, avec du matériel et des logiciels abordables. Ça doit aller vite. Alors l'approche modulaire a le vent en poupe, mais pour la mise au point, une connaissance approfondie de l'interaction des composants reste indispensable. De plus en plus d'électroniciens cherchent aussi à commercialiser eux-mêmes leurs propres produits.
En tant que n°1 mondial des magazines d'électronique, Elektor entend accompagner ses lecteurs dans cette évolution. Cette publication comporte donc de nouvelles rubriques avec p. ex. de nouvelles plates-formes de microcontrôleurs (p. 82). Nos experts mettent en lumière l'interaction analogique des composants (p. 64) ; un entretien passionnant avec le créateur d'une célèbre bibliothèque à code source ouvert (p. 14) donne en toute simplicité quelques ficelles pour mieux faire connaître vos propres projets. Il y a aussi des conseils pour les concepteurs professionnels et ceux qui veulent le devenir (pp. 32, 62). Elektor répond aussi au souhait souvent exprimé par nos lecteurs d'en faire plus pour les débutants (pp. 23, 59, 94, 96).
Le cœur battant de votre magazine reste la section des montages, où le logiciel reçoit aussi l'attention qu'il mérite (p. ex. p. 78). Enfin, nous soumettons à un test pratique les produits les plus intéressants de notre boutique (p. ex. p. 60).
L'équipe éditoriale internationale d'Elektor a été resserrée autour de moi comme rédacteur en chef. Une tâche que je ne maîtriserais pas sans la contribution et l'expérience de mes collègues des éditions nationales. Notre équipe vous propose un magazine et un site en quatre langues qui couvrent le mieux possible tous les domaines de l'électronique. **Le grand écart entre les relais et RISC-V, c'est là notre ambitieux programme pour entamer avec vous la décennie qui commence !**

Jens Nickel

Notre équipe

Rédacteur en chef :	Jens Nickel
Rédaction :	Eric Bogers, Jan Buiting, Rolf Gerstendorf, Denis Meyer (traduction), Dr. Thomas Scherer, Clemens Valens
Service aux lecteurs :	Ralf Schmiedel
Correcteur technique :	Malte Fischer
Laboratoire :	Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens (responsable), Jan Visser
Ont participé à ce numéro :	Robert Grignard, Hervé Moreau, Helmut Muller
Maquette :	Giel Dols

ce mois-ci

43e année – nº 481
janvier/février 2020

5 **bientôt dans Elektor**

95 **agenda**

104 **innovation 4.0 : dialogue d'innovateurs et d'entrepreneurs**

106 **rétronique**
Coffret Lego électronique, millésime 1968
Les jouets électroniques fascinent encore 50 ans plus tard

110 **ça dépasse l'électronique**
Jauger un pont pour jauger la ville
Un projet de surveillance électronique des quartiers chauds d'Amsterdam

112 **l'e-choppe d'elektor**

114 **hexadoku**
casse-tête pour elektorniciens

en coulisse

6 **GUI tactiles – pour ESP32, RPi & Co.**
interfaces graphiques utilisateur avec la bibliothèque LittlevGL

14 **« pas un projet banal... c'est presque comme un enfant »**
Entretien avec Gábor Kiss-Vámosi, le développeur de LittlevGL

26 **filtres analogiques : quelques bases**
la magie des réseaux de filtrage est l'un des phénomènes les plus saisissants de l'électronique

42 **multitâche en pratique avec l'ESP32**
programmation de tâches avec FreeRTOS et l'EDI Arduino

50 **améliorer soi-même les phares de son auto ?**
Légal ou illégal, ce n'est pas égal !

64 **électronique analogique**
Étude de cas nº 1 - Section 1 : microphone MEMS... *1-2-3 test 1-2-3*

78 **afficheur tactile 3,5 pouces rapide pour Raspberry Pi**
Parfait pour la vidéo, mais pas plus cher

82 **mes premiers pas avec RISC-V**
Essai de la carte LoFive

98 **véhicules autonomes : où nous mènent-ils ?**
L'état de l'art (abrégé)

variateur pour moteur monophasé 1 kW

Trois modes de fonctionnement : commutation de cycle intégral,

interfaces graphiques tactiles pour ESP32, RPi & Co.

avec la bibliothèque LittlevGL

6

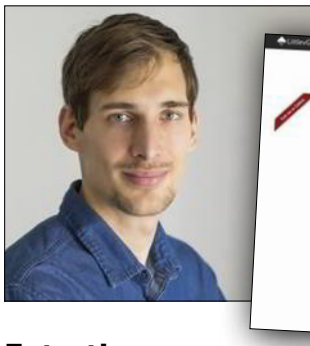
sur la scène

56 **BANC D'ESSAI :**
station de soudage numérique Toolcraft

60 **Comparaison :**
deux caméras de vision thermique

les projets

18 **Capaci-Meter**
affichage à LED de type Dekatron sur deux chiffres

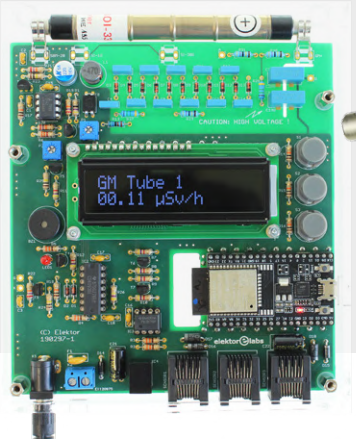


Entretien avec Gábor Kiss-Vámosi, le père de LittlevGL

70

découpage de phase en début ou en fin de demi-période

station de surveillance de rayonnement ionisant avec 2 tubes Geiger



34

14

23 comment filtrer les rebonds d'un contact mécanique ?
Un interrupteur est soit ouvert, soit fermé, n'est-ce pas ?
Pas si simple que ça…

34 station de surveillance de rayonnement ionisant
Publie les données de 2 tubes Geiger sur les plates-formes IdO

67 minuterie d'infusion de thé
Exercice de récupération d'énergie avec convertisseur thermoélectrique

70 variateur pour moteur monophasé 1 kW
Trois modes de fonctionnement : commutation de cycle intégral, découpage de phase en début ou en fin de demi-période

elektor
DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

86 un géotraceur LoRa défie Elektor Labs
Petits tracas du concepteur avec leur solution en gelée

88 Sigfox : un renard sur l'internet des objets (2)
Inscription au réseau Sigfox

rubriques

32 bureau d'études - zone D
Développement en cours

48 mises au point & mises à jour
Corrections – questions – réponses

59 Arduino Pro IDE : mes premières impressions

62 expérience vécue
installer un labo et un atelier d'électronique

80 ce labo-ci n'est pas ce labo-là
montre-moi ton labo, je te dirai qui tu es

94 démarrer en électronique
… est plus facile qu'on ne l'imagine !

96 retour des petits circuits
…et des bonnes petites idées de projets Elektor

bientôt sur ces pages

Au sommaire du prochain numéro :

- relais 230 V télécommandé par LoRa
- BASIC pour ESP8266
- passerelle LoRa
- sonnette ESP32
- bouton pour l'internet des objets
- sonde opto
- .NET-Board Meadow
- la conception de circuits analogiques
- PC de labo à construire soi-même
- entretien avec Wienke Giezeman (TheThingsNetwork)

… et bien davantage

Sous réserve de modification.
Le numéro de mars/avril 2020 paraitra le 27 février 2020.

interfaces graphiques tactiles pour ESP32, RPi & Co.

avec la bibliothèque LittlevGL

Mathias Claussen (Elektor Labs)

Pratiquement tous les projets à microcontrôleur doivent afficher quelque chose. Si jadis des afficheurs de texte à deux lignes suffisaient à la tâche, de nos jours on utilise de plus en plus des afficheurs graphiques à cristaux liquides (LCD) ou à diodes électroluminescentes organiques (OLED). Pour l'affichage de graphiques attrayants et/ou la commande tactile, il existe toute une série de bibliothèques. *LittlegVL* est une bibliothèque qui, sous la licence MIT très libre, peut être adaptée aux afficheurs et aux contrôleurs les plus variés. Dans cet article, nous allons démontrer tout cela avec une carte ESP32 et un écran LCD tactile qui affiche les données d'une station météorologique.

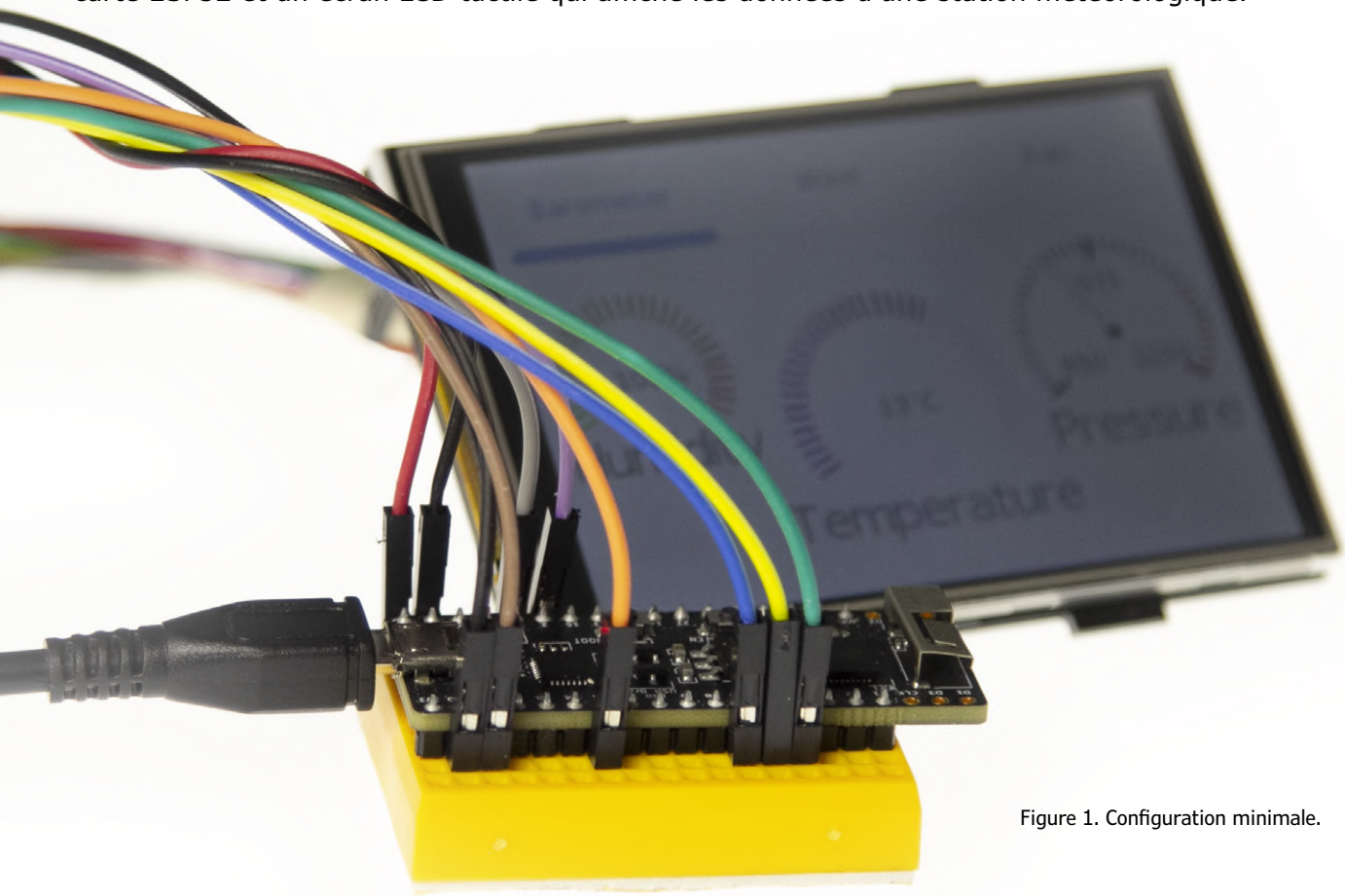


Figure 1. Configuration minimale.

Les interfaces graphiques utilisateur (GUI) nécessitent souvent un effort de programmation bien supérieur au « code utile » qui réalise les fonctions importantes du projet. Afin de se concentrer sur les aspects essentiels du projet, il est de plus en plus important et apprécié de pouvoir recourir, pour l'affichage de données sous forme graphique, à des solutions complètes, voire des bibliothèques toutes faites telles que *µGFX*, *emWin* ou *TouchGFX* pour les cartes STM32, pour n'en citer que quelques-unes parmi les plus connues. Elles ont toutes des avantages et des inconvénients, par ex. à cause de leurs licences commerciales ou de leurs liens avec des fabricants particuliers de microcontrôleurs. Bien entendu, il est toujours possible d'écrire sa propre bibliothèque, mais cela représente un travail énorme, bourré de chausse-trapes, sans compter les nombreux bogues tapis dans un code personnel volumineux.
Avec *LittlevGL* de Gábor Kiss-Vámosi [1], on se trouve en terrain

bien plus sympathique, car cette bibliothèque bénéficie d'une licence MIT avec des conditions d'utilisation très amicales. Une GUI réalisée avec cette bibliothèque est bien adaptée aux écrans tactiles, mais peut aussi être utilisée avec une souris, un clavier ou des touches indépendantes. Le code est exécutable sur des microcontrôleurs à 16, 32 et 64 bits. La configuration minimale se contente de 16 MHz, 64 Ko de flash et 16 Ko de RAM. Cela rend cette bibliothèque idéale pour des petites cartes comme l'ESP32 ou l'ESP8266. Espressif l'a d'ailleurs ajoutée à son environnement de développement de l'Internet des Objets (*IoT Development Framework*, IDF). De plus, il existe de l'aide pour débuter et l'assemblage du matériel de test. *LittlevGL* offre aussi la possibilité non négligeable de développer et de tester des GUI sur PC ; le code créé sur PC peut ensuite être porté sur le microcontrôleur cible sans guère de modifications.

Bibliothèques & ESP32

C'est avec des essais pratiques qu'on apprend le plus. C'est pourquoi nous montrerons ici comment utiliser cette bibliothèque avec la station météorologique d'Elektor [2]. L'objectif est une GUI adaptée à un écran tactile. Nous allons même réaliser un affichage de données sur plusieurs pages. Mais pour cela, nous avons besoins de matériel.
Il est facile de se procurer un module ESP32. Sont appropriés un *ESP32-PICO-D4*, un *ESP32-DevKitC* ou une carte dérivée. Pour l'afficheur, on a le choix entre une interface série ou une connexion parallèle, mais qui consommerait presque toutes les entrées/sorties de l'ESP32. Comme il y a aussi la question du prix, nous nous sommes décidés pour un afficheur LCD de 3,5 pouces pour Raspberry Pi très répandu. La plupart des afficheurs bon marché comme le 3,5 pouces de JOY-iT sont connectés par SPI et travaillent avec des niveaux de signaux de 3,3 V. Ils sont donc parfaits pour une connexion économe en broches à une carte ESP32. De plus, ils possèdent déjà un contrôleur de la fonction tactile intégré et connectable par SPI. Les afficheurs SPI destinés au RPi sont limités quant à la vitesse de transfert des données, comme on peut s'en rendre compte à la lenteur de rafraîchissement des images affichées.

Important : *LittlevGL* ne fournit pas de pilote d'afficheur, mais seulement des fonctions « de niveau plus élevé » pour le dessin d'objets. L'écriture des routines de gestion du matériel reste à la charge du développeur. Mais même là, point n'est besoin de réinventer la roue, car il existe des bibliothèques toutes faites pour la plupart des afficheurs. Dans notre cas, il s'agit de la bibliothèque Arduino *TFT_eSPI* [3] qui supporte aussi les afficheurs de 3,5 pouces.

Quincaillerie

Pour le projet (**fig. 1** ci-contre), il vous faut :
- ESP32-DevKitC-32D ou ESP32-PICO-Kit V4
- Afficheur tactile de 3,5 pouces pour Raspberry Pi de JOY-iT
- Petites cartes de prototypage et fils de câblage

Matière grise

Pas de surprise pour le logiciel nécessaire : outre l'inévitable EDI Arduino avec gestion des cartes ESP32, il faut les versions Arduino des bibliothèques *LittlevGL* et *TFT_eSPI*.
Pour installer et gérer confortablement ces deux bibliothèques, il faut insérer les deux lignes suivantes dans l'IDE Arduino sous *Préférences -> URL de gestionnaire de cartes supplémentaires* :

```
https://github.com/littlevgl/lv_arduino/library.json
https://github.com/Bodmer/TFT_eSPI/library.json
```

Ces lignes demandent au gestionnaire de bibliothèques de chercher et d'installer *LittlevGL* et *TFT_eSPI*. Ensuite, on vérifie que ces deux bibliothèques apparaissent bien dans le dossier des bibliothèques d'Arduino.
Comme déjà mentionné, les deux bibliothèques sont nécessaires. *LittlevGL* s'occupe de l'interface utilisateur, donc de l'animation et de l'agencement des objets, de la gestion de multiples scènes et du rendu graphique. Le résultat est une matrice de bits (*bitmap*). Ces données sont alors transférées sous la forme adéquate à l'afficheur par *TFT_eSPI*. Ces bibliothèques réalisent une abstraction de l'afficheur effectivement utilisé.

D'autres d'afficheurs

TFT_eSPI supporte non seulement les afficheurs SPI pour le RPi, mais aussi ceux équipés des contrôleurs suivants : ILI9341, ST7735, ILI9163, S6D02A1, HX8357D, ILI9481, ILI9486, ILI9488, ST7789 et R61581.
C'est là une belle liste d'afficheurs couleurs courants. Si on veut utiliser un contrôleur de marque RAiO, comme le RA8875, on peut recourir à la bibliothèque *RA8875* de Adafruit [4]. Il faut alors prévoir des adaptations pour pouvoir lier *LittlevGL.* Outre des afficheurs couleurs, la bibliothèque *u8g2* [5] permet aussi de piloter des afficheurs monochromes. Le texte qui suit ne concerne toutefois que l'afficheur SPI LCD de 3,5 pouces pour le RPi.

Pilote spécifique

Si l'on utilise un afficheur pour lequel il n'existe pas de pilote Arduino, il faut savoir quelles fonctions doivent être disponibles. Ces informations sont aussi bien utiles en cas de portage et d'édition de liens.
En principe, un pilote spécifique peut se limiter à savoir placer des pixels de couleur donnée sur l'écran. *LittlevGL* s'attend à une fonction de la forme suivante :

```
/****************************************
* Function    : disp_flush_data
* Description : Sends pixels to the display
* Input       : lv_disp_drv_t *disp, int32_t x1,
*               int32_t y1, int32_t x2, int32_t y2,
*               const lv_color_t *color_array
* Output      : none
* Remarks     : none
****************************************/
void disp_flush_data(lv_disp_drv_t *disp,
 const lv_area_t *area, lv_color_t *color_p){
   /* Here: grab the pixel and send it to the display
   */

   /* Inform the library after job is done */
   lv_flush_ready(disp);
}
```

Cette fonction est passée à *LittlevGL* sous la forme d'un pointeur. Elle reçoit comme paramètres les coordonnées de début et de fin de l'espace à remplir, ainsi qu'un pointeur vers les données de l'image. L'action sur les pixels dépend du pilote de l'afficheur concerné. Toutefois il peut arriver que

les couleurs spécifiées par *LittlevGL* doivent être recalculées avant affichage (par ex. de RVB à BVR). La routine de dessin n'a en principe rien d'autre à savoir. Par ailleurs, il existe des solutions d'accélération du matériel, comme le moteur DMA2D de certains contrôleurs STM32.

Touche finale

Nous savons à présent comment l'image est envoyée sur l'écran. Il ne manque que le traitement des données du contrôleur tactile. Pour cela, il y a une fonction de *LittlevGL* qui lit et traite les données si on touche l'écran, en fonction du type de l'afficheur. En général, les afficheurs pour RPi sont équipés d'un *XPT2046* connecté en mode esclave au bus SPI. Malheureusement, on ne peut pas le lire à une vitesse supérieure à 2,5 MHz. Comme l'afficheur et son contrôleur sont cadencés à 20 MHz (et même jusqu'à 26 MHz à température ambiante), la vitesse du bus doit être réglée pour chaque accès et ensuite restaurée à la valeur d'origine. Là encore la bibliothèque *TFT_eSPI* montre son utilité, car non seulement elle supporte le XPT2046, mais elle prend automatiquement en charge la commutation de vitesse.
Sans fonction tactile, on peut toujours utiliser l'interface avec une souris, un clavier, une molette ou des boutons-poussoirs. Bien entendu, ces moyens de saisie nécessitent aussi des pilotes appropriés. Ils doivent être enregistrés de manière adéquate dans *LittlevGL*.

Dessine-moi un bouton

D'abord un mot sur les points forts de *LittlevGL* : il est bien pratique que le code source soit disponible. Cela facilite le débogage de son code personnel. De plus, la bibliothèque est bien documentée et continue d'être activement développée. Grâce aux exemples, même les débutants peuvent rapidement obtenir des résultats lors de la conception d'interfaces. Depuis le simple étiquetage de boutons, tableaux, jusqu'aux listes déroulantes et aux cadrans, on dispose d'une vaste palette d'éléments de contrôle et de commande. De plus, des fenêtres simples ou contextuelles ainsi que des thèmes pour l'écran d'accueil sont proposés afin de pouvoir encore mieux personnaliser la GUI. Tous les éléments bénéficient d'une description détaillée dans la documentation. Les fonctions de la bibliothèque ainsi que leurs interactions sont montrées dans [1]. *LittlevGL* n'offre pas (encore) de fonctions de base d'affichage de pixels ou de tracé de lignes. La raison en est le mode de production de l'image : quand un élément change, il est possible de déterminer le domaine de l'écran à redessiner et de préparer le tampon en RAM interne. L'image est ensuite envoyée à l'écran. De ce fait, il n'y a pas que les lignes qui doivent être disponibles sous forme d'objets, mais aussi les pixels. Cette restriction est compensée par une plus grande facilité de rafraîchissement des domaines sur l'écran.
Venons-en aux détails techniques de la formation et de l'affichage des images : pour obtenir des animations ou des rafraîchissements d'écran sans erreur ni clignotement, on pourrait commencer par préparer l'image complète dans la RAM du microcontrôleur et ensuite l'envoyer vers l'afficheur. Dans notre cas, cela représente 307 Ko de données. Mais on pourrait aussi envoyer directement tous les éléments vers l'afficheur et ainsi occuper moins de RAM. Mais ceci rendrait difficile un affichage sans clignotement et interdirait des effets tels que l'anticrénelage (*antialiasing*), la transparence et les ombres.
On a un compromis en mettant en RAM l'image d'une partie seulement de l'écran. Avec à peine plus de 10% de la mémoire nécessaire pour l'image complète, on dispose déjà de toutes les propriétés ci-dessus. Un afficheur de 480 × 320 pixels avec une palette de couleurs à 16 bits ne consommerait que 30,7 Ko de RAM. Ça reste considérable pour un ESP32, mais encore gérable. Dans la version 6 actuelle de la bibliothèque, la zone mémoire n'est pas communiquée par un `#define` mais doit être préparée dans le code. Cette façon de procéder est particulièrement utile si vous disposez de RAM externe supplémentaire à utiliser. Cette démo simplifie le code en se limitant à l'allocation statique d'une zone dans la mémoire de l'ESP32 :

Tableau 1. Câblage afficheur - ESP32.

fonction	broches (afficheur)	broche ESP32	remarque
MISO	21	19	
MOSI	19	23	
SCK	23	18	
DC	18	02	
CS	24	05	
RST	22	EN	économise une broche GPIO
T_CS	26	04	
VCC (5 V)	02	5 V	
GND	14 / 25	GND	
T_IRQ (optionnel)	11	34	broche ESP32 pour entrée uniquement

```
//Memory for the displaybuffer
static lv_disp_buf_t disp_buf;
static lv_color_t buf[LV_HOR_RES_MAX * 10];
```

La ligne suivante affecte cette mémoire à l'affichage dans la fonction `hal_init()` :

```
lv_disp_buf_init(&disp_buf, buf, NULL, LV_HOR_RES_MAX
   * 10);
```

Pour d'autres microcontrôleurs, il faut évaluer le possible et le préférable, car il y en a pas mal qui disposent de sensiblement moins de RAM ou qui seraient contraints à des accès acrobatiques à de la RAM externe. Outre la RAM disponible, d'autres paramètres interviennent tels que la puissance de calcul disponible, ou un fonctionnement à fils multiples que *LittlevGL* ne supporte malheureusement pas : tous les accès doivent être exécutés dans le même fil, qui appelle aussi la fonction **lv_task_handler()**. La puissance de calcul nécessaire dépend du nombre d'interactions et de l'activité graphique sur l'écran ainsi que de la présence et du type d'animations. Grâce à son double cœur, un ESP32 dispose de suffisamment de puissance de calcul pour une GUI.

Expérimentations

Si l'on veut se lancer dans des expérimentations, il faut s'attendre à quelques pièges. Pour une mise en service sans aspérités, nous donnons un exemple de configuration. Une carte ESP32-D4-PICO à laquelle on a ajouté un afficheur présente occasionnellement quelques difficultés au démarrage dues à la charge supplémentaire. Un condensateur additionnel de 10 µF entre le 3,3 V et la masse retarde suffisamment le démarrage pour

que les tensions aient le temps de s'établir à une valeur normale. La connexion d'un afficheur à la carte ESP32 s'effectue selon le **tableau 1**. Le matériel est ainsi fin prêt pour passer à la configuration et au test du logiciel. On commence par la bibliothèque *TFT_eSPI* en tant que pilote de l'afficheur puis on passe à la configuration de *LittlevGL*.
Pour le pilote de l'afficheur, il faut localiser le dossier *TFT_eSPI* dans le répertoire de l'EDI Arduino pour adapter le fichier *User_Setup.h* à l'afficheur utilisé. Il faut que les **#define** ci-dessous, correspondants à l'afficheur employé, soient présents :

```
#define RPI_ILI9486_DRIVER // max. 20 MHz SPI
#define TFT_MISO 19
#define TFT_MOSI 23
#define TFT_SCLK 18
#define TFT_CS   05 // Chip select control
#define TFT_DC   02 // Data Command control
#define TFT_RST  -1 // set TFT_RST to -1 if display
   RESET is connected to ESP32 RST
#define TOUCH_CS 04 // Chip Select (T_CS) of touch
   screen
#define SPI_FREQUENCY  20000000

// An XPT2046 requires a lower SPI clock rate of
   2.5 MHz:
#define SPI_TOUCH_FREQUENCY 2500000
```

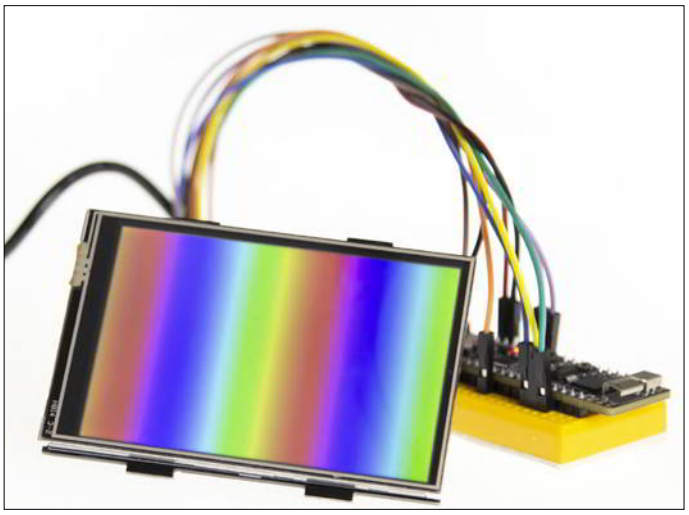
On définit donc les broches GPIO utilisées et une fréquence d'horloge du SPI de 20 MHz, valeur initiale plus sûre pour l'afficheur. Les 2,5 MHz sont mieux adaptés pour le contrôleur tactile. Pour les tests, nous choisissons l'exemple *TFT_eSPI -> 480x320 -> Rainbow480* qui affiche les couleurs de l'arc-en-ciel. Lorsque tout est compilé et connecté correctement, l'afficheur devrait avoir l'aspect de la **figure 2**. Le matériel est alors prêt à l'emploi.
L'étape suivante concerne la liaison de *LittlevGL* au pilote de l'afficheur et l'élaboration d'une interface homme-machine (HMI) personnelle. Pour utiliser *LittlevGL*, il faut commencer par adapter la configuration. Pour cela, on cherche le dossier *littlevGL* dans le dossier des bibliothèques Arduino. Dans le fichier *lv_config.h* qui s'y trouve, on effectue les adaptations pour l'afficheur utilisé et on spécifie les éléments disponibles dans la bibliothèque. Au début du fichier apparaissent les réglages de la gestion de la mémoire. La ligne :

```
#define LV_MEM_SIZE (64U * 1024U)
```

définit la mémoire RAM réservée pour les objets de la GUI. Pour la valeur spécifiée de 64 Ko, l'éditeur de liens va plus tard diagnostiquer une impossibilité de réserver une telle quantité de mémoire. Pour une réservation statique (effectuée lors de la phase de compilation), la discontinuité de l'espace mémoire de l'ESP32 se fait sentir. On pourrait réserver des blocs de mémoire appropriés avec **malloc()** et **free()** au moment de l'exécution, mais comme cela comporte d'autres dangers, on s'y prend autrement. On modifie le contenu de la ligne de la manière suivante :

```
#define LV_MEM_SIZE (24U * 1024U)
```

ce qui suffit pour nos premiers pas.



Premier test : les couleurs de l'arc-en-ciel.

L'afficheur a une résolution de 480 × 320 pixels, spécifiée par les **#define** suivants :

```
/* Horizontal and vertical resolution of the library */
#define LV_HOR_RES_MAX (480)
#define LV_VER_RES_MAX (320)
```

On en déduit la résolution en points par pouce (*Dots Per Inch*, DPI) avec la formule suivante :

$$DPI = \frac{\sqrt[2]{(horizontal\ resolution)^2 + (vertical\ resolution)^2}}{screen\ diagonal\ in\ inch}$$

Ce qui donne :

$$DPI = \frac{\sqrt[2]{(480)^2 + (320)^2}}{3,5} = 164,83$$

Soit en nombre entier :

```
#define LV_DPI 164
```

Voilà pour les réglages de base. Pour les premiers tests, on conserve les autres réglages et on sauvegarde les modifications. Dans l'EDI Arduino, on peut maintenant choisir l'exemple *ESP32_TFT_eSPI* sous *LittlevGL* et l'envoyer sur la carte ESP32. Si tout est correctement configuré, on devrait voir apparaître « Hello Arduino! » sur fond blanc sur l'afficheur.
Le pilote et *LittlevGL* coopèrent donc correctement. Toutefois, on n'a toujours pas lu le contrôleur tactile de l'afficheur, ni passé ses données à la bibliothèque. Nous allons donc nous intéresser aux parties essentielles du code qui nous permettront d'établir un canevas de base pour une application personnelle. Pour cela, examinons de plus près l'exemple *ESP32_TFT_eSPI* de la bibliothèque *LittlevGL* qui vient juste d'être envoyé sur l'ESP32. Dans la fonction `setup()`, après l'initialisation de la bibliothèque à la ligne 63 avec `lv_init()` et celle du TFT aux lignes 69 et 70 avec `tft.begin()` et `tft.setRotation(1)`, on arrive sur les lignes 73 et 74 à celle de la `struct lv_disp_drv_t`. Un

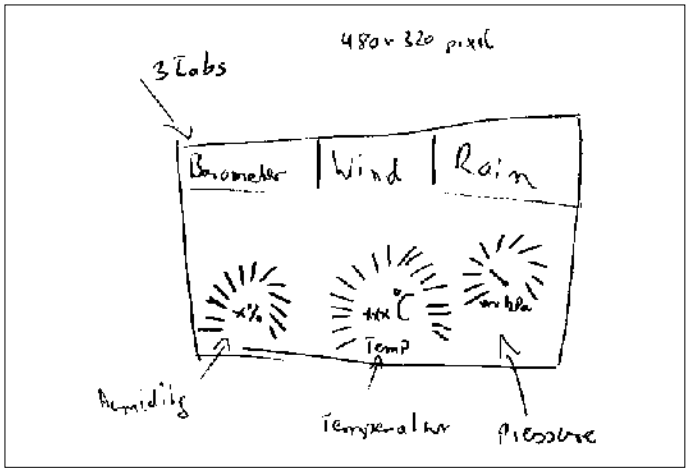


Figure 3. Dessin à la main pour afficher la pression atmosphérique, la température et l'humidité de l'air.

Figure 4. Écran avec trois onglets vides, juste pour voir.

pointeur de fonction est doté de cette `struct` pour l'écriture vers l'afficheur et est ensuite enregistré dans la bibliothèque. Un processus semblable a lieu pour le pilote *Dummy-Touch* sur les lignes 80 à 84. Enfin, une base de temps est mise à la disposition de la bibliothèque au moyen d'un « ticker ». Il s'agit d'une fonction appelée toutes les 20 ms. Un chronomètre est alors incrémenté de 20 ms. Ensuite est créé un bouton auquel est assigné le texte « Hello Arduino! » (lignes 90 à 92).
Dans la fonction `loop()` ne subsiste que l'appel `lv_task_handler()` pour que la GUI puisse réagir à des signaux d'entrée ou rafraîchir l'écran.

Pour ne pas avoir à recommencer depuis le début à chaque projet, l'auteur a conçu un projet de base dans lequel sont effectués les réglages de l'afficheur de JOY-iT et de son contrôleur tactile ainsi que les initialisations des composants. L'orientation de l'afficheur est réglée par l'appel de `tft.setRotation(3)` sur la ligne 139 du croquis. L'image est ainsi tournée de 270° par rapport à la position de sortie. Si un autre afficheur nécessite une autre orientation, par ex. une rotation de 180°, le paramètre doit être mis à 1.

Réalisation de la GUI

Avec ce canevas de base, on peut se mettre à réaliser sa propre GUI. On peut le faire directement sur le matériel de l'ESP32, mais la compilation, le téléversement et les tests prennent du temps. L'alternative est un simulateur sur PC. Son installation, décrite sous [5], exige d'être familier avec *Eclipse*. Elle est un peu plus difficile sous Windows que sous Linux ou OS X. Le simulateur ne permet de tester que les premières étapes sans avoir à recharger à chaque fois le code modifié sur l'ESP32.
On commence par la conception de la couche supérieure pour laquelle le mieux est encore le crayon et le papier (ou la tablette et le stylet), car on devrait avoir des esquisses avant d'écrire la première ligne de code. La **figure 3** montre un exemple d'ébauche tracée à la main. De cette manière, le placement des objets et leurs interactions deviennent clairs.
Comme il s'agit d'une station météorologique, on a choisi pour l'affichages des données une couche supérieure simple avec trois onglets. Pour que le croquis Arduino reste clair, les fonctions et les composants de la GUI sont regroupés dans un fichier séparé.
D'abord on prépare la scène et on crée un élément de visualisation (tabview) auquel on ajoute les trois onglets *Barometer*, *Wind* et *Rain*. Le code suivant se charge de la préparation de la scène :

```
lv_theme_set_current(th);

/* Next step: create a screen */
lv_obj_t * scr = lv_cont_create(NULL, NULL);
lv_scr_load(scr);
```

On commence par charger le thème, passé en paramètre. Pui on prépare et on charge une scène vide. La taille entière de l'écran est assignée à l'élément *tabview*. La copie d'écran (**fig. 4**) montre trois onglets vides avec les titres définis dans le thème. Si l'on clique sur le titre de l'onglet, le changement d'onglet est indiqué par le marqueur bleu. Comme les onglets sont vides, on n'en voit pas plus.
Les cinq lignes de code suivantes :

```
/* And now populate the four tabs */
lv_obj_t * tv = lv_tabview_create(scr, NULL);
lv_obj_set_size(tv, LV_HOR_RES_MAX, LV_VER_RES_MAX);
lv_obj_t * tab0 = lv_tabview_add_tab(tv, "Barometer");
lv_obj_t * tab1 = lv_tabview_add_tab(tv, "Wind");
lv_obj_t * tab2 = lv_tabview_add_tab(tv, "Rain");
```

créent les trois premiers onglets. Pour le moment, ils sont encore vides, mais ils ont déjà un titre.

Affichage de la météo

Allons-y avec le baromètre : nous avons à afficher trois valeurs (humidité de l'air, température et pression). Pour l'humidité de l'air et la température, on utilise **lv_lmeter** et une étiquette (label)qui indiquent la valeur et le nom de la grandeur mesurée. Pour l'humidité de l'air, on utilise **lv_gauge**. Confort supplémentaire : lors de l'exécution, il est possible de modifier les éléments par des styles et ainsi individualiser chaque élément. Lors de l'organisation des éléments, il faut prendre en considé-

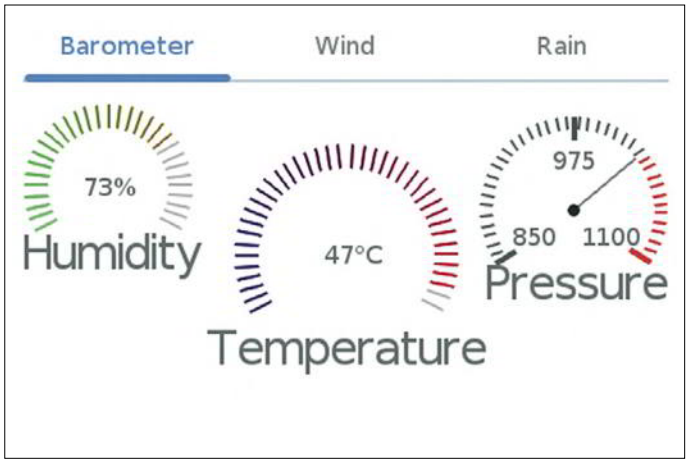


Figure 5. Copie d'écran du premier onglet avec des valeurs du baromètre.

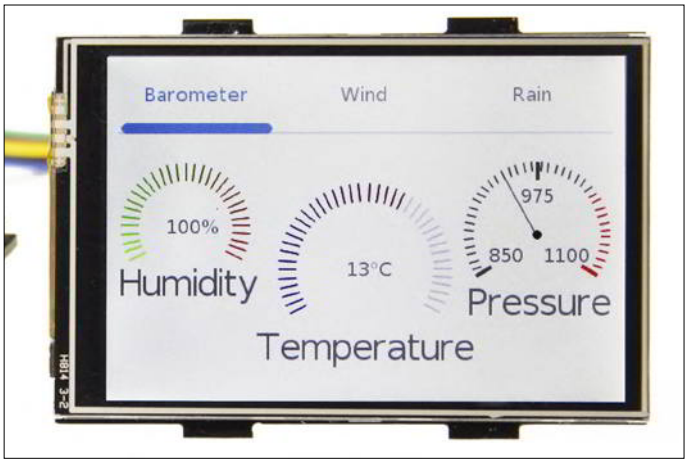


Figure 6. Baromètre sur l'afficheur réel.

ration la fonction **autofit** de la bibliothèque. Il faut donc agencer convenablement les éléments ou bien désactiver **autofit**. On peut positionner les éléments par rapport à plusieurs origines de coordonnées, voir l'aperçu sous [**7**]. Les divers éléments peuvent avoir des *parents*, c'est-à-dire des objets dont dépend leur position. De cette manière, on obtient une interdépendance élégante des positions, où le déplacement d'un parent provoque une réorganisation de tous les enfants (*childs*). Après leur création, on ne peut plus accéder directement aux éléments avec le code, c'est pourquoi, pour *LMeter* et *Gauges,* nous utilisons des pointeurs à accès global. L'exemple de code

```
lv_obj_t* humidity_lmeter
lv_obj_t* humidity_label
lv_obj_t* temp_lmeter
lv_obj_t* temp_label
lv_obj_t* air_pressure_gauge
```

montre que des fonctions comme **lv_lmeter_create** ne retournent que des pointeurs. Se pose la question de savoir où la mémoire est allouée. C'est dissimulé un peu plus profondément dans la bibliothèque. L'expression :

```
# define LV_MEM_SIZE (24U * 1024U)
```

alloue une zone de mémoire statique pour les éléments graphiques. À chaque appel d'une fonction **create**, une portion de mémoire est prélevée dans cette zone et attribuée à l'objet graphique. Le résultat de l'opération est un pointeur vers cette portion, qui sert à modifier les caractéristiques de l'objet. Si jamais cette zone s'épuise, ce qui peut arriver avec des interfaces dynamiques, la bibliothèque signale une erreur et le programme s'enferme dans une boucle sans fin, ce qui paralyse l'ESP32.

Au début, les pointeurs ne sont valides que dans la fonction où l'on se trouve. Si, plus tard, on veut accéder directement à un élément, les pointeurs doivent être sauvegardés en dehors de la fonction. Pour simplifier, nous utilisons pour cela quelques variables globales, ce qui est toutefois déconseillé pour des applications sérieuses.

En passant par les pointeurs, on peut écrire de nouvelles valeurs dans les affichages. La fonction UpdateTemperature en est un bon exemple. Pour l'élément d'affichage *Lmeter*, on attend une valeur comprise entre 0 et 100, mais le domaine de valeurs est de ±50°. On doit donc affecter la température d'un décalage de 50. De sorte que 0° corresponde à une valeur *Lmeter* de 50. La température courante est affichée sous forme de texte, au moyen de **snprintf()** et d'un petit tampon local, dont le contenu sert à rafraîchir le champ de texte. Si la longueur du texte change, son alignement n'est pas automatique. Cet

Liens

[1] Bibliothèque LittlevGL : https://github.com/littlevgl/lv_arduino

[2] « station météo à ESP32 », Elektor 01-02/2019 : www.elektormagazine.fr/180468-04

[3] Bibliothèque TFT_eSPI : https://github.com/Bodmer/TFT_eSPI

[4] Bibliothèque RA8875 : https://github.com/adafruit/Adafruit_RA8875

[5] Bibliothèque u8g2 : https://github.com/olikraus/u8g2

[6] Simulateur pour PC : https://docs.littlevgl.com/en/html/get-started/pc-simulator.html

[7] Positionnement des objets : https://docs.littlevgl.com/en/html/overview/object.html#object-s-working-mechanisms

[8] « horloge à LED géante avec Wi-Fi et mesures météo », Elektor 05-06/2019 : www.elektormagazine.de/180254-01

[9] La page de cet article : www.elektormagazine.fr/190295-03

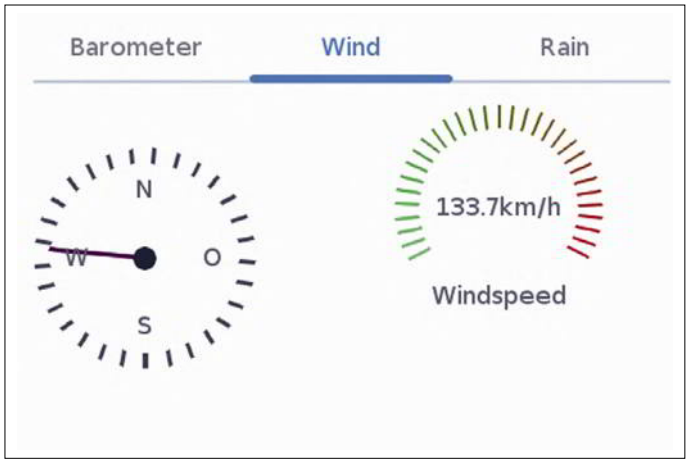


Figure 7. Onglet avec la direction et la vitesse du vent.

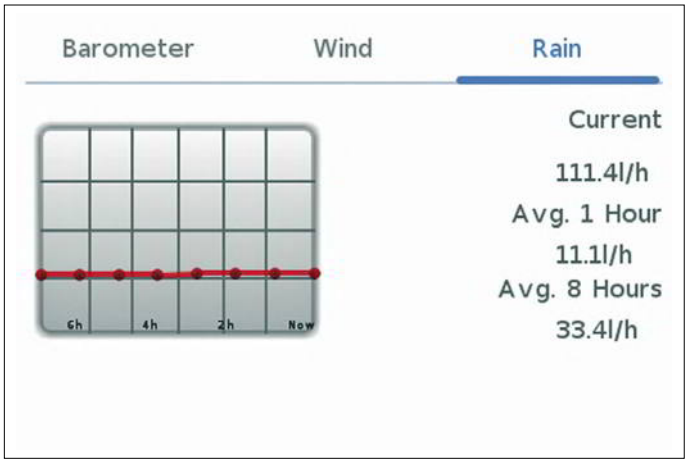


Figure 8. L'onglet Pluie avec courbe et valeurs des précipitations.

alignement doit être réeffectué après écriture du texte. Pour cela, on rappelle **lv_obj_align()**avec les paramètres de l'étiquette. L'humidité et la pression de l'air sont traitées de manière analogue. La **figure 5** montre une copie d'écran des onglets terminés et la **figure 6** l'aspect « réel » de l'affichage sur l'écran LCD.

Nous avons donc rempli le premier onglet avec des données. Nous procéderons de manière analogue avec le second onglet, sauf que l'affichage de la direction du vent sous forme de boussole exigera un peu plus de moyens. Un cadran (*gauge*) sert de parent à quatre étiquettes. Dans le code on crée un cadran gradué de 0 à 359°, suivi de quatre étiquettes (*label*) qui reçoivent pour parent la boussole. Les étiquettes sont définies par rapport au centre de la boussole et indiquent ainsi les quatre points cardinaux. L'aiguille indique la direction d'où vient le vent. Sur le cadran, ce n'est pas la valeur 0 qui donne 0°, mais la valeur 180. Pour l'indication de la vitesse du vent, on utilise un *Lmeter* analogue à celui du baromètre. On voit que, lors de la création des éléments, les mêmes étapes se succèdent : on commence par attribuer un style à l'objet, puis on crée l'objet, et enfin, on lui attribue ses propriétés. Le résultat est visible sur la **figure 7**.

Pour la pluie ou les précipitations, l'affichage des valeurs prend un autre aspect. Les valeurs sont représentées sous forme de texte et d'un diagramme de l'évolution. Les textes sont réalisés de la manière déjà décrite : création des styles et des objets, puis assignation des valeurs. Pour l'évolution des précipitations, on utilise un diagramme linéaire qui, depuis la version 6, ne nécessite plus de bidouillage pour l'étiquetage des axes. Pour l'actualisation des valeurs, il n'est pas nécessaire de déplacer individuellement chaque point, **lv_chart_set_next** s'en charge. Une nouvelle valeur est communiquée au diagramme une fois par heure. La mise à jour des précipitations est effectuée, comme pour d'autres textes, par une fonction spécifique. La **figure 8** présente une copie d'écran de données fictives pour la courbe et les précipitations.

Pour la liaison des données de l'afficheur, nous réutilisons le code du projet d'horloge à LED géantes [**8**], qui traite des données envoyées par un agent (*broker*) via MQTT. Le code s'attend à ce que l'agent envoie un message JSON contenant l'humidité de l'air, la température, la pression atmosphérique, la direction du vent et les précipitations. Quand l'agent envoie de nouvelles données, elles sont réparties dans leurs éléments associés. Il faut veiller à ne pas le faire faire par des fils différents. Excepté l'absence du réglage de l'heure, il n'y a pas de différence notable avec le projet de l'horloge à LED géantes, même pour la configuration. Les réglages du Wi-Fi et de MQTT sont repris tels quels, il n'y a qu'à régler la station météo et l'affichage sur le même sujet (*topic*). À partir de là, les valeurs parviennent directement à l'afficheur. Seule la pluie fait provisoirement exception, car seule la quantité actuelle est disponible. Il manque encore dans la station météo le calcul des quantités horaires et de l'évolution. Dès que ce sera disponible, ces valeurs seront actualisées sur l'afficheur.

Conclusion

Le code de cet exemple pratique de quelques-unes des fonctions fondamentales de *LittlevGL* est téléchargeable gratuitement [**9**]. *LittlevGL* offre bien davantage de fonctions et d'animations et de possibilités d'agencement de tableaux de bord, de liste et de menus déroulants.

Cette bibliothèque est facile à utiliser. Essayez *LittlevGL* dans vos propres projets. Un module ESP32 associé à un afficheur forme, pour un prix raisonnable, une plateforme universelle et puissante.

Vous trouverez ailleurs dans ce numéro un entretien de la rédaction et de labo d'Elektor avec Gábor Kiss-Vámosi. le géniteur de cette remarquable bibliothèque ⏮

(190295-03 – VF : Helmut Müller)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Écran tactile de 3,5 pouces pour Raspberry Pi de JOY-IT
www.elektor.fr/18145

→ ESP32-Pico-Kit V4
www.elektor.fr/18423

→ Mini-carte de prototypage et fils de câblage
www.elektor.fr/18430

AVEC NOTRE GAMME RND, CONTOURNEZ VOS CONTRAINTES BUDGÉTAIRES.

Tirer le meilleur parti de votre projet: www.reichelt.com/rnd

Excellente qualité, prix bas.

Profitez de composants à un prix abordable sans compromis sur la qualité avec RND, la marque de distributeur de reichelt. La gamme comprend plus de 8 000 produits dans les domaines des composants, de l'automatisation, du câblage, des boîtiers, des outils et des équipements de laboratoire :

RND lab · RND power · RND components · RND connect · RND cable

Fer à souder électrique de 150 W

RND lab

Temps de chauffage rapide : jusqu'à 480 °C en 1 minute seulement

Pour plus de sécurité, le fer à souder passe automatiquement en mode veille après 10 minutes d'inactivité et s'éteint complètement après 20 minutes.

- Réglage de la température par simple pression d'un bouton
- Plage de température : 250 - 520 °C
- poignée ergonomique avec écran LCD intégré pour l'affichage de la température

BESTSELLER 50,87

N° de commande : **RND 560-00216**

40,79 (33,99)

150 WATT

THÈME SPÉCIAL:
Ce qu'il faut savoir sur la soudure

Le brasage est une partie importante du travail avec et sur les composants électroniques. La réussite d'un projet nécessite d'une part le bon équipement, d'autre part la mise en place d'un système de gestion de projet. la bonne technologie de brasage.

Informer maintenant
▶ www.rch.lt/MG282f

Lampe LED d'atelier avec loupe

5 niveaux d'intensité réglables

- Lentille en verre de 3 dioptries
- Température de couleur 6000 - 6500 K
- Luminosité 950 lm

A+ (A++ - E)

N° de commande :
RND 550-00122 **85,66** (71,39)

RND lab

Soudure à l'étain avec teneur en cuivre

100 g, Sn99.3/Cu0.7

- Teneur en flux
- Diamètre du fil de soudure 1mm
- Point de fusion + 217 °C

PETIT PRIX

N° de commande :
RND 560-00169 **7,36** (6,13)

RND lab

Types de paiement : Sofort. · VISA · MasterCard · Maestro · PayPal · amazon pay

- Excellent rapport qualité prix
- Plus de 110 000 produits sélectionnés
- Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

Assistance téléphonique: +33 97 518 03 04 www.reichelt.com

reichelt elektronik – Tirer le meilleur parti de votre projet

Les réglementations légales en matière de résiliation sont applicables. Tous les prix sont indiqués en € TVA légale incluse, frais d'envoi pour l'ensemble du panier en sus. Seules nos CGV sont applicables (sur le site https://rch.lt./CG-FR ou sur demande). Semblables aux illustrations. Sous réserve de coquilles, d'erreurs et de modifications de prix.
reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 97 518 03 04
PRIX DU JOUR! Prix à la date du: 5. 12. 2019

« pas un projet banal… c'est presque comme un enfant »

Entretien avec Gábor Kiss-Vámosi, le père de LittlevGL

Questions : **Mathias Claußen** & **Jens Nickel (Elektor)** – Réponses : **Gábor Kiss-Vámosi**

Le développement de logiciels ne saurait se passer de bibliothèques et d'infrastructures (*frameworks*) à code source ouvert. Certaines de ces bibliothèques prennent forme quand de jeunes passionnés de logiciels privés produisent du code dont ils ont régulièrement besoin pour eux-mêmes. Peu à peu leur projet prend de l'ampleur et devient professionnel, comme c'est le cas de la bibliothèque *LittlevGL* de Gábor Kiss-Vámosi, qui met les interfaces graphiques tactiles à la portée des microcontrôleurs à 16 bits pauvres en RAM (il y a un autre article sur ce sujet dans ce numéro). Dans cet entretien, Gábor parle du contexte, de quelques détails intéressants et de l'avenir de sa bibliothèque populaire.

Elektor : Gábor, pourquoi devrions-nous utiliser votre bibliothèque d'interfaces graphiques alors qu'il y en existe déjà qui sont libres à des fins non commerciales comme µGFX ?

Gábor : µGFX et LittlevGL ont des avantages communs, comme l'indépendance du code source ouvert par rapport à la plateforme, mais LittlevGL gère aussi les animations lisses, l'anti-crénelage, l'opacité et les ombre portées sans double tampon. De sorte qu'avec LittlevGL une seule trame tampon suffit dans la puce du contrôleur d'affichage ou dans le µC et une petite RAM graphique. Un autre avantage est le support intégré dans LittlevGL pour la navigation et la commande par clavier ou avec un encodeur.

Et puis LittlevGL supporte MicroPython. Vous pouvez donc écrire du code Python3 pour créer une interface utilisateur. Ainsi vous pouvez modifier l'interface utilisateur en temps réel sans reconstruire ni flasher le µC.

Elektor : Quelle est votre formation, votre profession ? Pourquoi investissez-vous tant de temps dans un projet logiciel ?

Gábor : Je suis ingénieur électricien et travaille sur un projet lié à la sécurité du matériel informatique dans le cadre de ma profession.

Pendant mes études universitaires, un ami et moi avons passé beaucoup de temps en amateurs sur des amplis, des instruments et d'autres gadgets que nous souhaitions équiper d'un bel écran graphique au lieu des petits LCD habituels. J'ai proposé d'acheter un bel écran TFT pour essayer de dessiner quelque chose. Si je parvenais à programmer un pixel, le reste suivrait facilement. Au bout de deux heures je commandais mon premier pixel, et la suite dure depuis huit ans !

J'aime apprendre. Ce travail est donc comme un passe-temps. Une fois le projet devenu public, j'ai reçu beaucoup de commentaires d'autres développeurs, plus expérimentés. Ils m'ont suggéré des améliorations. J'ai relevé le défi, car je me sens personnellement responsable de mon projet, puisque que des gens l'utilisent et ont confiance en lui.

Elektor : Combien de temps consacrez-vous réellement au codage ? Combien de temps consacrez-vous à d'autres tâches du projet ?

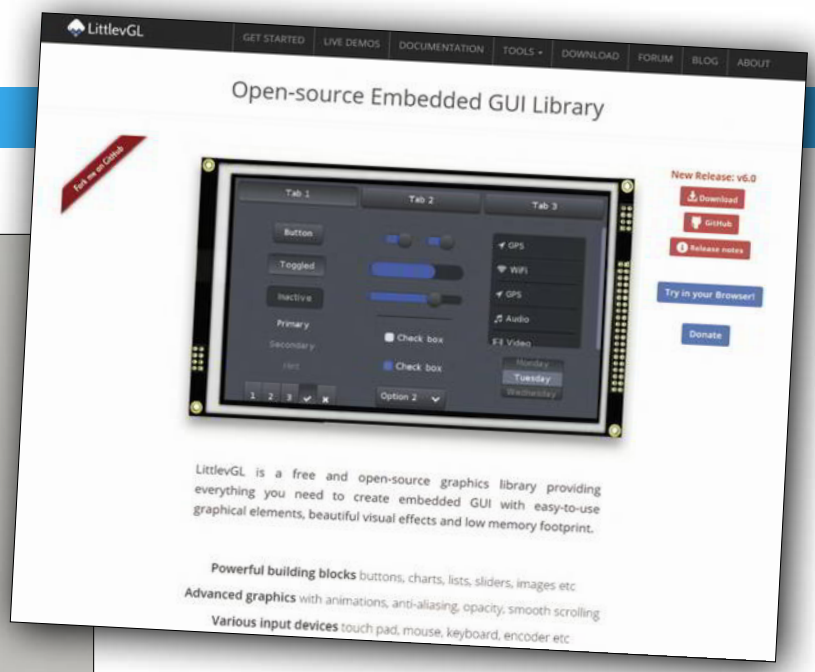
Gábor : C'est devenu moins facile depuis que j'ai une famille, je dois trouver l'équilibre. D'habitude, je me lève tôt, quand ma femme et mon enfant dorment encore, pour répondre aux courriels et aux questions et pour travailler sur les nouvelles fonctions. L'après-midi, si j'ai du temps libre, j'en profite pour essayer d'avancer. Si je compte mes heures, c'est un temps partiel en plus de mon plein temps professionnel. Combiner le travail, LittlevGL, la famille, les amis et les loisirs n'est pas une mince affaire, mais j'y arrive.

Au début, quand j'ai publié LittlevGL, j'avais beaucoup à apprendre sur des choses qui n'ont rien à voir avec la programmation, comme le marketing, l'optimisation pour les moteurs de recherche, le développement web, un peu de conception graphique, etc. Il m'a fallu des mois pour maîtriser les astuces de SEO, et pour ça je passais des journées à analyser des sites. Ces efforts ont porté leurs fruits : recherchez «*embedded GUI*« dans Google, c'est LittlevGL qui sera probablement le premier résultat.

Elektor : Obtenez-vous de l'aide de la communauté ou des entreprises en arrière-plan, pour le codage et d'autres tâches ?

Gábor : Heureusement, au fur et à mesure, de plus en plus de contributeurs se sont joints au projet pour le soutenir. Cer-

Gábor Kiss-Vámosi (29 ans) vit à Budapest (Photos : Ramóna Erdei).



tains d'entre eux partagent leurs améliorations personnelles comme «Hey, j'ai ajouté une fonction de substitut (*placeholder*) à l'objet Zone de texte. Ça vous intéresse ?» Les améliorations proposées par certains sont énormes ; la liaison MicroPython est de «amirgon» et le nouveau convertisseur de polices est de «puzrin». D'autres aident à répondre aux questions des utilisateurs et à corriger des bogues. Par exemple, «embeddedt» passe des heures chaque jour à aider les utilisateurs.
Ce qu'ils font est très important et précieux pour LittlevGL qui sans eux ne serait pas ce qu'il est !

Elektor : Avez-vous obtenu de l'aide de la communauté pour le portage vers Arduino ?
Gábor : En fait, le portage vers Arduino a été délicat. Il a fallu modifier la structure de la bibliothèque pour qu'elle fonctionne avec le compilateur d'Arduino. J'ai fait les premiers changements moi-même mais il y a quelques mois, «Pablo2048» l'a remanié pour sortir une version Arduino. Il m'aide aussi à répondre aux questions connexes, son expérience avec Arduino est plus vaste que la mienne.

Elektor : Les utilisateurs peuvent donner de l'argent à votre projet. Les dons sont-ils substantiels pour vous ou n'est-ce qu'un petit soutien ?
Gábor : Les dons sont suffisants pour couvrir les dépenses du projet telles que le serveur, l'achat de cartes de développement et ainsi de suite, mais je ne peux pas en vivre.

Elektor : Comment trouvez-vous de nouvelles idées pour la bibliothèque ? Recevez-vous les commentaires des développeurs ?
Gábor : Parfois, les utilisateurs ont des requêtes explicites. Je traite les questions récurrentes pour améliorer ce qui doit l'être dans la bibliothèque ou dans la documentation. Ainsi la version 6.0 a-t-elle été un changement conceptuel dans la bibliothèque principalement pour résoudre les questions fréquentes.
Outre les suggestions des utilisateurs, j'essaie de suivre les tendances générales en matière de conception graphique et d'interface utilisateur intégrée et de proposer des solutions. J'utilise la bibliothèque moi-même. J'ai réalisé plusieurs projets pour des entreprises en tant que pigiste. Je l'utilise aussi dans mon propre travail professionnel en ce moment.

Elektor : Fréquentez-vous les salons et autres événements ? Avez-vous l'occasion de parler aux utilisateurs de votre bibliothèque ?
Gábor : Ah, les échanges personnels avec les utilisateurs me manquent. Ce serait sans doute enrichissant de les rencontrer, mais ils sont si disséminés….
Certains m'ont invité, plusieurs m'ont offert de nous accueillir si nous visitons leur pays ou leur ville. Nos vacances de l'année prochaine ont été organisées en fonction de la rencontre avec un utilisateur de LittlevGL.
L'arrière-plan de LittlevGL va devenir celui d'un vrai logiciel professionnel et pas seulement d'un projet comme un autre. Dans ce cadre, il est prévu de participer à des conférences et d'organiser des webinaires et des séminaires.

Elektor : Pour utiliser LittlevGL, des µC à 16, 32 ou 64 bits sont nécessaires. Cela implique-t-il l'abandon des 8 bits ?
Gábor : Théoriquement, il n'y a pas de problème avec les 8 bits mais leur RAM est généralement insuffisante pour exécuter LittlevGL. Il faut au moins 16 Ko pour LittlevGL, ce qui est beaucoup demander, même aux µC à 16 bits.

Elektor : Pouvez-vous nous parler de l'idée technique de la bibliothèque ? On voit que l'interface utilisateur fonctionne avec des écrans / scènes…
Gábor : L'idée de base est de créer vos objets (appelés *widgets*) tels que boutons, étiquettes, graphiques, curseurs, etc., et dont vous définissez simplement les propriétés telles que la taille, la position, les styles, la valeur ou l'état et les rappels pour informer l'utilisateur si un événement survient (p. ex. un

Outils en ligne pour un projet logiciel

Dans un projet de logiciel ouvert, le codage est essentiel, mais il vous faut aussi une documentation solide et un solide soutien pour les utilisateurs. C'est ce que Gábor Kiss-Vámosi raconte à propos de son site et d'autres outils pour soutenir sa bibliothèque :

Comme ingénieur électricien, je ne connaissais pas grand-chose au développement web. J'ai essayé WordPress mais quand j'ai essayé de le personnaliser, j'ai découvert qu'il ne me donnerait pas la liberté souhaitée. Puis j'ai trouvé Bootstrap, et j'ai pu créer le site à partir de zéro. Bootstrap est assez facile, même pour un novice, et à la fois beau et rapide.
Par la suite, les «sujets secondaires» ont migré vers des sous-domaines distincts et maintenant ils fonctionnent avec des moteurs différents.
Le blog est hébergé sur GitHub où les messages sont écrits en Markdown (balisage léger), et un moteur appelé Jekyll compile automatiquement un site web statique à partir des fichiers Markdown. De cette façon, n'importe qui peut facilement ajouter des messages sur le blog, il suffit d'envoyer une requête *pull*.
La documentation est également hébergée sur GitHub mais elle est compilée hors ligne avec Sphinx. Les documents peuvent être traduits par les utilisateurs sur Zanata, une plate-forme en ligne.
Le forum dispose d'un moteur Discourse qui fonctionne sur un serveur virtuel DigitalOcean. DigitalOcean a un programme de parrainage pour les projets à code source ouvert. J'ai demandé et obtenu un parrainage annuel, que je peux dépenser comme je l'entends. J'ai donc lancé un VPS pour héberger le forum. L'aide de «seyyyah» de GitHub a été précieuse pour la configuration du VPS.
Mon but était de bâtir une communauté où les gens partagent leurs connaissances, parlent de leurs projets et de leurs expériences. LittlevGL a un blog ouvert où tout le monde peut écrire des messages. Sur le forum, il y a une catégorie «Mes projets» pour partager ce que vous avez créé d'intéressant.

Elektor : Nous pouvons utiliser différents widgets préfabriqués pour l'interface utilisateur, mais si nous avons besoin de quelque chose qui n'existe pas, y a-t-il un guide pour nous aider à les créer ?
Gábor : Tous les widgets fonctionnent de la même manière. Ils ont des données personnalisées, une fonction de conception qui dessine le widget et une fonction de signal qui gère les événements internes de bas niveau. Au fond, si vous examinez le code du widget, vous pouvez créer le vôtre de la même manière. Il existe des fichiers modèles c et h pour faciliter le démarrage avec votre propre widget.

Elektor : L'allocation de RAM est-elle statique pour les éléments de l'interface utilisateur ? Ou la réserve de mémoire est-elle limitée, au risque de ne pas suffire ?
Gábor : LittlevGL a son propre gestionnaire de mémoire avec allocation dynamique de la mémoire pour les widgets et éléments connexes. Il alloue les données dans un grand tableau dont la taille peut être ajustée ou même placée dans une mémoire externe. Contrairement aux standards «malloc» et «free», le gestionnaire de mémoire de LittlevGL permet de surveiller l'utilisation et la fragmentation de la mémoire. Donc oui, la mémoire est limitée, mais vous pouvez surveiller son occupation et ajuster la taille de la mémoire réservée à LittlevGL. Si ça coince, un message d'erreur avec un numéro de ligne s'affiche et le programme s'arrête là. Ainsi, vous décelez facilement l'origine du problème.

Elektor : Comment le dessin est-il géré ? Y a-t-il des astuces pour réduire le dessin multiple sur des objets qui se chevauchent ?
Gábor : De nombreuses astuces contribuent à optimiser le dessin. Au niveau de dessin le plus élevé, LittlevGL accumule les zones à redessiner (p. ex. si un bouton est pressé) et toutes les quelques millisecondes (p. ex. 30), il redessine ces zones. Avant de redessiner, il recherche à partir de l'arrière-plan quel widget est le premier qui couvre la zone à redessiner. Ainsi, si vous modifiez le texte du bouton, seuls le bouton et l'étiquette seront redessinés mais pas le fond sous le bouton. Mais si vous changez la position du bouton, le fond, le bouton et l'étiquette devront également être dessinés.

clic de bouton). De cette façon, tous les dessins et autres éléments sous-jacents sont gérés sous le capot par LittlevGL et l'utilisateur n'a à s'occuper que des éléments de haut niveau. L'objet peut être créé et supprimé en temps réel. Ce qui permet d'optimiser l'utilisation de la mémoire pour ne garder en vie que l'objet requis. Vous avez besoin d'une boîte de message par exemple ? Créez-la puis supprimez-la dès que l'utilisateur clique sur le bouton «Ok». La boîte de message n'a consommé de mémoire que tant qu'elle était affichée.
Les objets ont une hiérarchie parents-enfants. Vous pouvez p. ex. créer un conteneur (parent) et y ajouter trois boutons (enfants). Si vous déplacez le conteneur, les boutons se déplaceront avec, si vous supprimez le conteneur, les boutons seront également supprimés.
Un autre atout de LittlevGL est de ne réaliser qu'un type limité d'orientation d'objet. Chaque objet est dérivé de l'objet de base doté seulement des propriétés les plus communes comme la position, la taille, le parent, etc. Ce mécanisme assez commun en C++ est unique en C.

Le développement commence dès l'aube. Avant même le petit-déjeuner !

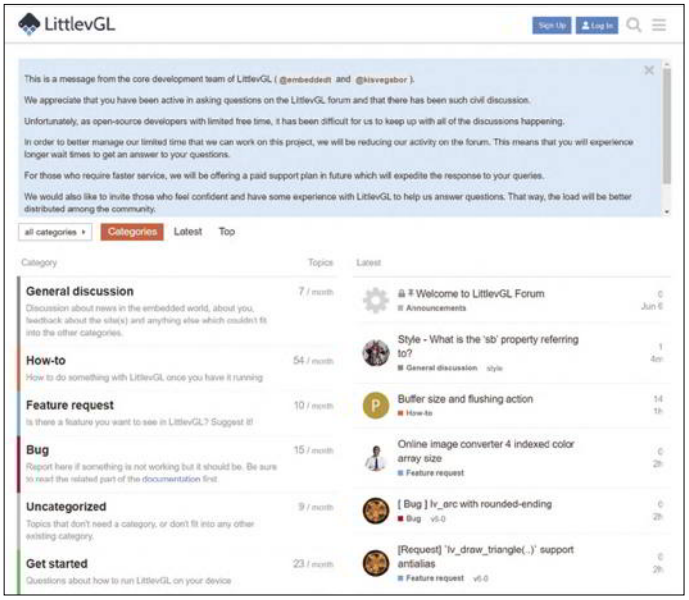
Ce sont-là des optimisations assez banales.
Ce qui est vraiment intéressant dans LittlevGL, c'est qu'il ne dessine pas directement pour l'affichage (comme beaucoup de bibliothèques graphiques simples) ni ne fait de double tampon (comme les bibliothèques graphiques avancées) mais dessine en mosaïque. Il utilise une mémoire plus petite (généralement 1/10e de la taille d'un écran) et y dessine en premier. Lorsque le dessin est prêt, le tampon avec l'image complète est balancé à l'écran d'un coup. Comme le dessin est fait dans le tampon, il n'y a pas de scintillement, les animations sont fluides.
Dans la dernière version de la bibliothèque (qui sera publiée cette année), le moteur de dessin est complètement réécrit. Le moteur de dessin est plus flexible et extensible, la qualité générale est meilleure (amélioration de l'anticrénelage et des ombres p. ex.), mais l'objectif principal était de supporter le masquage. Grâce au masquage des pixels, les coins arrondis peuvent être découpés ou les textes peuvent être écrits avec un fond d'image ou une couleur de dégradé. Sans oublier de nouvelles fonctions comme le gradient horizontal, le décalage de l'ombre et les modes de mélange additif et soustractif.

Elektor : Les polices peuvent être converties en ligne sur votre page ; offrez-vous un convertisseur hors ligne facile à utiliser pour les polices ? Et les symboles ?
Gábor : Le convertisseur de polices est écrit en Node.js, il peut donc fonctionner en ligne et hors ligne aussi. Nous n'avons pas encore d'application de conversion de polices de bureau, mais vous pouvez cloner le convertisseur depuis GitHub et l'utiliser en ligne de commande.
Les symboles peuvent aussi provenir de polices de caractères. *FontAwesome* est une police de caractères bien connue et très populaire dont certains symboles sont inclus par défaut dans LittlevGL. Cependant, lorsque vous créez votre propre police, vous pouvez choisir plusieurs fichiers de polices pour les fusionner en un seul fichier C, en combinant par exemple certaines plages de *Arial* à quelques symboles de *FontAwesome*.

Elektor : La bibliothèque n'est pas sécurisée, est-il prévu d'ajouter le support RTOS à votre bibliothèque ?
Gábor : C'est vrai, elle n'est vraiment pas sécurisée par défaut mais il est facile de la sécuriser. Il suffit de prendre un *mutex* lorsque vous appelez les fonctions liées à LittlevGL et de le libérer dès que c'est fini.

Elektor : LittlevGL dispose d'un environnement basé sur Eclipse pour un développement rapide de l'UI sans avoir à flasher de code sur du matériel tangible. Y aura-t-il une sorte de GUI Designer, pour accélérer encore le développement ?
Gábor : Oui. Ça a déjà été demandé. Cela me comble que certains utilisateurs aient commencé à travailler spontanément sur des concepteurs d'interfaces graphiques. Il existe trois développements indépendants et ils ont tous beaucoup progressé. L'un d'eux pourrait devenir le concepteur officiel de l'interface graphique de LittlevGL.

Elektor : LittlevGL est sous licence MIT, ce qui en facilite l'intégration dans les produits commerciaux. D'après le dernier sondage en ligne effectué, il y avait des questions sur les options de licence commerciale. Qu'est-ce qui va changer ?



Le support aux utilisateurs représente une grande part du travail. Sur le forum, des utilisateurs expérimentés de la bibliothèque répondent également aux questions.

Gábor : La popularité de LittlevGL augmente rapidement. Une très grande entreprise s'est montrée intéressée par LittlevGL, mais il a été très difficile de négocier à titre personnel. La prochaine étape raisonnable est de créer une entreprise qui puisse mieux défendre les intérêts de LittlevGL.
À mesure que la communauté grandit, le développement, le soutien et le marketing sont de moins en moins une activité de temps libre. Il faut pour LittlevGL un modèle économique qui reste acceptable pour les utilisateurs mais permettrait aussi de salarier certaines personnes qui travaillent sur LittlevGL à plein temps. Un support payant avec correction rapide de bogues et aide professionnelle dédiée, ainsi qu'une sorte de licence sont également envisagés. Il reste à trouver le bon modèle économique.

Elektor : Quels conseils donneriez-vous à des jeunes qui développent des projets de logiciels libres intéressants ?
Gábor : Lorsque vous publiez ou démarrez un projet à code source ouvert, ayez un plan, une vision. S'agit-il d'un petit outil qui se passe d'entretien ? Ou de quelque chose qui demandera beaucoup de temps pendant des années ? Quel est votre objectif ? Pourquoi faire ça ? Juste pour le plaisir ? Pour la gloire ? Pour l'expérience ? Pour aider les autres ? Il faut répondre à ces questions avant de se lancer et prendre vos décisions en conséquence. La frustration vous guette si vous laissez les choses arriver sans que vous sachiez comment prendre quelle décision. Sachez dire non à ce qui ne correspond pas à ce que vous voulez et restez ouvert aux occasions favorables qui vous rapprochent de vos objectifs. Comme dit le proverbe, *il n'y a pas de vent favorable pour le marin qui ignore où est son port*. ⏮

190353-02

Lien

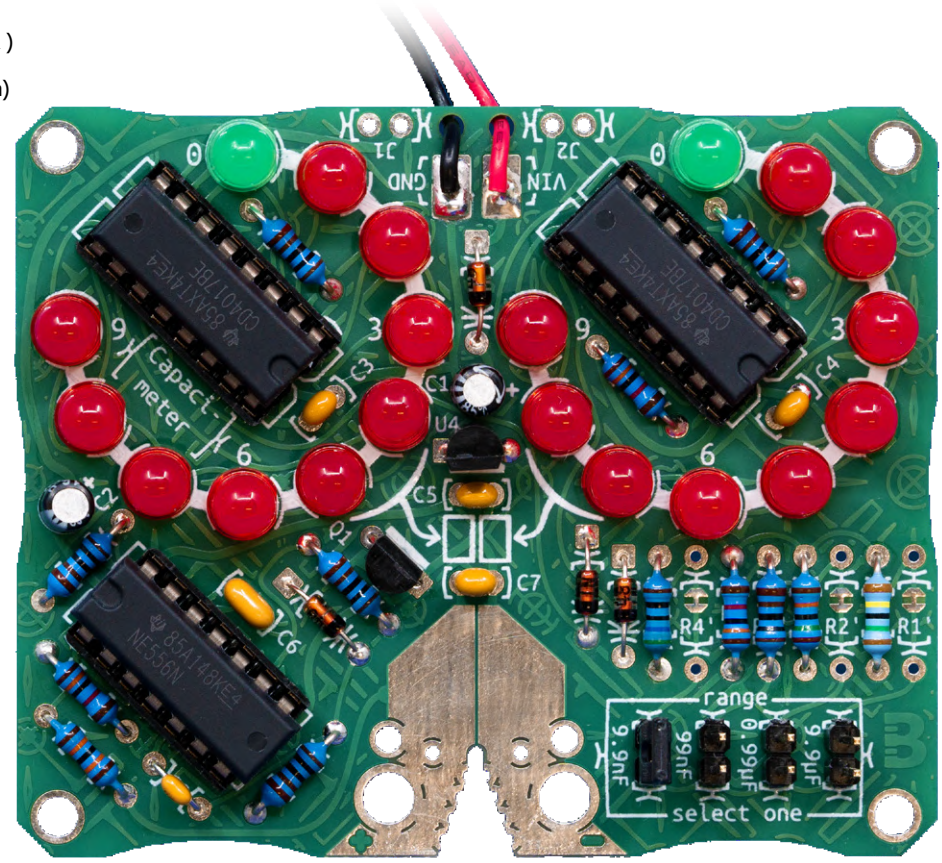
[1] Page d'accueil de LittlevGL : https://littlevgl.com/

Capaci-Meter

affichage à LED de type Dekatron sur deux chiffres

Projet : **Jez Siddons** (projects@peakelec.co.uk)

Circuit imprimé : **Boldport** (saar@boldport.com)



Le Capaci-Meter est au départ un projet de fin d'année 84-85 dans mon cours de technologie de niveau O (devenu GCSE) au Royaume-Uni. Au lieu de l'affichage sur 3 chiffres et 7 segments de la version originale, je propose ici un truc encore plus rétro, avec des LED qui imitent un 'Dekatron' pour représenter deux chiffres.

Avec son afficheur à seulement deux chiffres, cet instrument de mesure, sans offrir la plus grande précision, fait un excellent indicateur de tendance. Il vous dit p.ex. si le condensateur testé est proche de la valeur souhaitée, ce qui est utile p.ex. quand la valeur imprimée sur le composant est difficile à lire, mais que sa capacité exacte, au *pouième* de farad près, vous importe peu.

Plage de mesure et précision

Ce capacimètre offre quatre plages de mesure (tableau 1). La capacité minimale de chaque calibre est en fait la limite de la résolution du compteur (ainsi que de la gigue), donc le minimum est généralement le double de la résolution de la mesure. Comme pour toute mesure, il est bon de choisir la plage de mesure qui donne une valeur aussi proche que possible du maximum, mais toujours inférieure à la pleine échelle.

La précision normale est de l'ordre de ±5%, mais améliorable dans chacune des quatre gammes au moyen de quelques résistances de réglage fin. Un affichage à 2 chiffres n'offre toujours qu'une précision théorique maximale de ±1% de la pleine échelle. De plus, la quantification et la gigue peuvent augmenter l'erreur de ±1 chiffre. Il paraît donc réaliste d'attendre de cet appareil ±2% de précision à pleine échelle, à condition que les quatre plages soient bien réglées.

Caractéristiques

- Capacité minimale mesurable : 200 pF
- Capacité maximale mesurable : 9,9 µF
- Tension d'essai en circuit ouvert : 3,3 V
- Tension maximale admissible sur les sondes de test : –0,6 V à +5,6 V
- Impédance d'entrée : 130 kΩ
- Précision (sans réglage fin) : ±5% de la pleine échelle
- Précision (avec réglage fin des résistances de calibre) : ±2% de la pleine échelle
- Consommation de courant : 15 mA
- Tension d'alimentation : 7,5 V_{CC} à 15 V_{CC}

Tableau 1. Le *Capaci-Meter* offre quatre calibres.
Si une capacité est trop grande pour le calibre sélectionné, l'afficheur s'éteint à 99, indiquant un dépassement possible. Si possible, essayez une plage plus élevée pour voir si la capacité mesurée est supérieure à la plage ou précisément de '99'.

Calibre	Minimum	Maximum	Résolution
1	0,2 nF (200 pF)	9,9 nF	0,1 nF (100 pF)
2	2 nF	99 nF	1 nF
3	0,02 µF (20 nF)	0,99 µF (990 nF)	0,01 µF (10 nF)
4	0,2µF (200 nF)	9,9 µF	0,1 µF (100 nF)

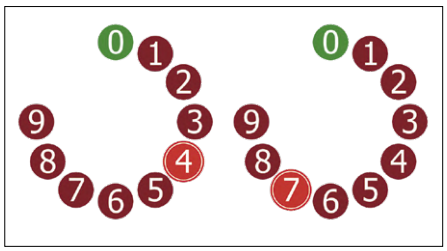


Figure 1. Ici, la valeur '47' est affichée. Si la plage de mesure sélectionnée est 0,0 - 9,9 µF, la valeur affichée représente 4,7 µF.

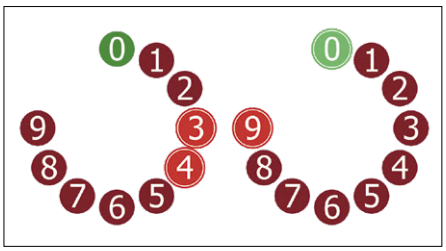


Figure 3. L'affichage oscille entre '39' et'40'. Cela peut sembler déroutant au début, mais la gigue se produit généralement entre valeurs adjacentes (comme 39 et 40). Nous pouvons donc être sûrs que l'affichage n'oscille pas entre '30' et'49' qui ne sont pas des valeurs adjacentes.

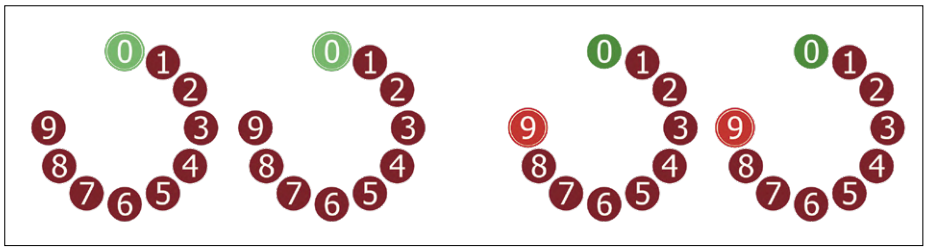


Figure 2. L'écran affiche zéro (à gauche) et '99' (à droite). L'affichage peut indiquer '99' si la capacité mesurée est exactement à pleine échelle, ou peut-être au-delà de la plage de mesure.

Façon Dekatron

Deux cercles de dix LEDs composent l'affichage à deux chiffres du *Capaci-Meter*. Ces cercles rappellent les *Dekatrons* utilisés comme afficheurs bien avant l'avènement des puces, des LED et même des transistors. Afin d'obtenir un affichage plus intuitif et contrairement aux décatrons d'origine, les LEDs sont disposées ici comme sur un cadran d'horloge (**fig. 1** et **2**).

Gigue ou instabilité

Il est possible que l'affichage hésite entre deux valeurs (**fig. 3**). Cela peut se produire quand la capacité mesurée est à la limite entre deux calibres, ou en présence d'un parasite électrique qui cause cette instabilité. Dans la plupart des cas, la valeur affichée reste lisible même avec de la gigue. Sauf quand celle-ci se produit entre 9 et 0, car il en découlerait également une gigue des dizaines, plus gênante.

Principe de mesure

Ce capacimètre mesure à répétition le temps de charge du condensateur sous test (C_x) jusqu'à une valeur donnée, à travers une résistance de valeur connue. Le circuit comprend trois sections principales :

- Horloge C_x (où C_x est le condensateur testé) : un simple générateur d'impulsions basé sur 555 (U3A, moitié d'une puce 556 à double temporisateur). La durée des impulsions est proportionnelle à la capacité C_x.
- Horloge maîtresse : une onde carrée utilisée par le compteur pour mesurer le temps. En changeant la fréquence de l'onde carrée, nous pouvons changer la plage de mesure effective de l'instrument entier.
- Compteur/afficheur : compte les fronts ascendants du signal de l'horloge maîtresse. Ce faisant, il mesure le temps. Les compteurs commandent également les LEDs qui forment l'afficheur.

L'horloge maîtresse produit des impulsions envoyées au compteur/afficheur. Lorsque le signal d'horloge C_x est haut, le compteur compte les impulsions de l'horloge maître. Lorsqu'il est bas, l'horloge maîtresse est désactivée (**fig. 4**) et le compteur s'arrête. En même temps, les LEDs s'allument pour indiquer la valeur comptée.

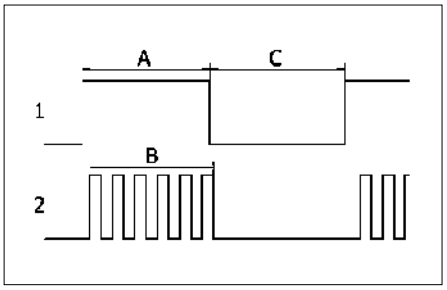


Figure 4. La durée de (A) dépend de la valeur de C_x. Le compteur compte les impulsions de l'horloge maîtresse (2) uniquement lorsque l'horloge C_x (1) est haute (B). Lorsqu'elle est basse, la valeur s'affiche (C).

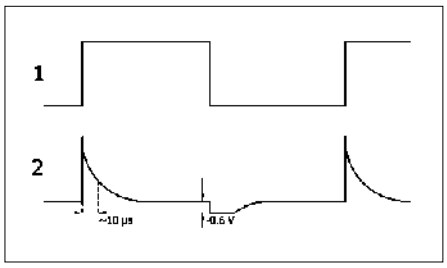


Figure 5. (1) est l'horloge C_x, (2) le signal de r. à z. des compteurs. Le différentiateur R12/C8 produit une impulsion positive en réponse à un front montant sur son entrée et une impulsion négative si ce front est descendant. Pour éviter d'endommager les compteurs, D4 limite l'impulsion négative à environ –0,6 V. Les valeurs de R12 et C8 déterminent le taux de décroissance du signal différencié. Ici, nous avons choisi des valeurs qui donnent environ 66% de décroissance en 10 µs, déterminées simplement par T = R × C.

Démarrage du comptage à zéro

Pour s'assurer que le compteur part de zéro chaque fois que le comptage commence, le compteur est initialisé sur le front montant du signal d'horloge C_x. C'est un différentiateur simple (R12/C8) qui s'en charge en donnant des impulsions très étroites à chaque front montant et descendant du signal rectangulaire (**fig. 5**). Pour éviter que les compteurs ne reçoivent des signaux qu'ils ne pourraient pas traiter, la diode D4 supprime les impulsions négatives. Le schéma complet du *Capaci-Meter* est sur la **fig. 6**.

Blocage du dépassement

Ce n'est pas indispensable, mais le comptage est limité à 99 pour éviter les valeurs tronquées ambiguës au-delà de 99. D'un point de vue logique, on arrête le décompte lorsque les deux unités ET les dizaines sont à 9. Il nous faut

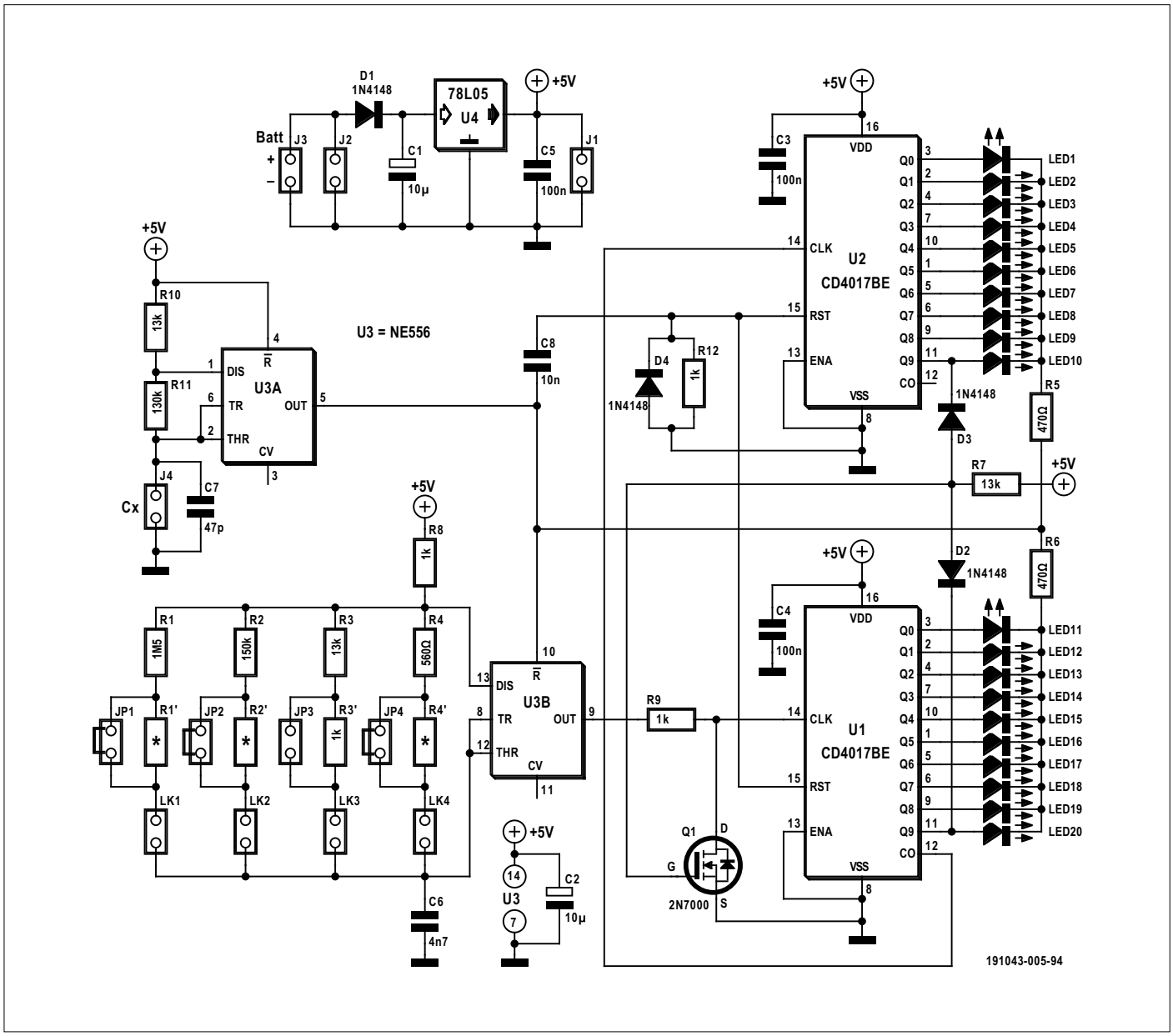


Figure 6. Le schéma complet du *Capaci-Meter* (c'est le nom original de ce kit en anglais, dont nul ne sait d'où vient ce trait d'union).

donc un opérateur ET, confectionné avec une paire de diodes (D2 & D3) et le MOSFET Q1. Maintenant, lorsque le niveau de la sortie '9' des deux compteurs est haut, l'horloge maîtresse est forcée vers le bas par Q1 pour bloquer la poursuite du comptage.

Fréquences d'horloge maîtresse

Nous voulons que le compteur compte jusqu'à 99 pour une capacité à pleine échelle dans la gamme où nous sommes. Par exemple, en testant un condensateur de 9,9 µF sur la plage supérieure, nous voulons que le compte atteigne exactement 99. Dans notre circuit, la durée du niveau haut issu de l'horloge C_x est déterminée par les valeurs de R10, R11 et C_x , avec la formule suivante :

$$T_{HAUT} = 0{,}693 \times (R10 + R11) \times C_x$$

Avec les valeurs données pour R10 et R11 et 9,9 µF pour C_x, cela nous donne une durée de niveau haut de 0,981 seconde. Pendant ce temps, nous voulons compter 99 impulsions de l'horloge maîtresse. La fréquence de l'horloge maîtresse devrait donc être :

$$f_{horloge} = 99 / 0{,}981 = 100{,}9 \text{ Hz}$$

C'est la fréquence requise pour la gamme 9,9 µF. Si nous réduisons la plage de capacité d'un facteur 10 (jusqu'à une pleine échelle de 0,99 µF) et que nous voulons toujours compter jusqu'à 99, alors la fréquence de l'horloge maîtresse doit être augmentée d'un facteur 10, et ainsi de suite.

Ces fréquences sont les valeurs théoriques cibles pour chaque gamme, les fréquences réelles peuvent différer légèrement en raison des tolérances des composants de l'horloge maître. Si vous le souhaitez, vous pouvez les affiner en ajustant la valeur des paires de résistances correspondantes R1 & R1', R2 & R2', R3 & R3' et R4 & R4'. Sans aucun réglage, la précision sera probablement de ±5% de la pleine échelle, peut-être même mieux.

Mesurez la fréquence de l'horloge maîtresse en surveillant la broche 9 de U3 tandis que les fils de test du condensateur sont court-circuités. Notez que les résistances de réglage fin R1', R2' et R4' (mais pas R3') sont court-circuitées sur le circuit imprimé, ce qui implique de supprimer ce court-circuit avant de monter l'une d'elles.

Écart des valeurs théoriques

Pour couvrir les quatre plages de mesure, l'horloge maîtresse doit produire des fréquences d'environ 100 Hz à 100 kHz. Selon la fiche technique du 555, la fréquence est calculée comme suit :

$$f = 1{,}44 / (C6 \times (R8 + 2 \times R_x)) \text{ Hz}$$

Ici R_x est soit R1 + R1', R2 + R2', R3 + R3' ou R4 + R4'. Malheureusement, à mesure que nous approchons des fréquences supérieures, la fréquence de sortie réelle s'écarte de la valeur théorique. Cet écart a été pris en compte lors du choix des résistances de réglage de gamme. Toutefois, il pourrait y avoir un certain avantage à apporter des ajustements supplémentaires, comme nous l'avons expliqué plus tôt.

Montage du *Capaci-Meter*

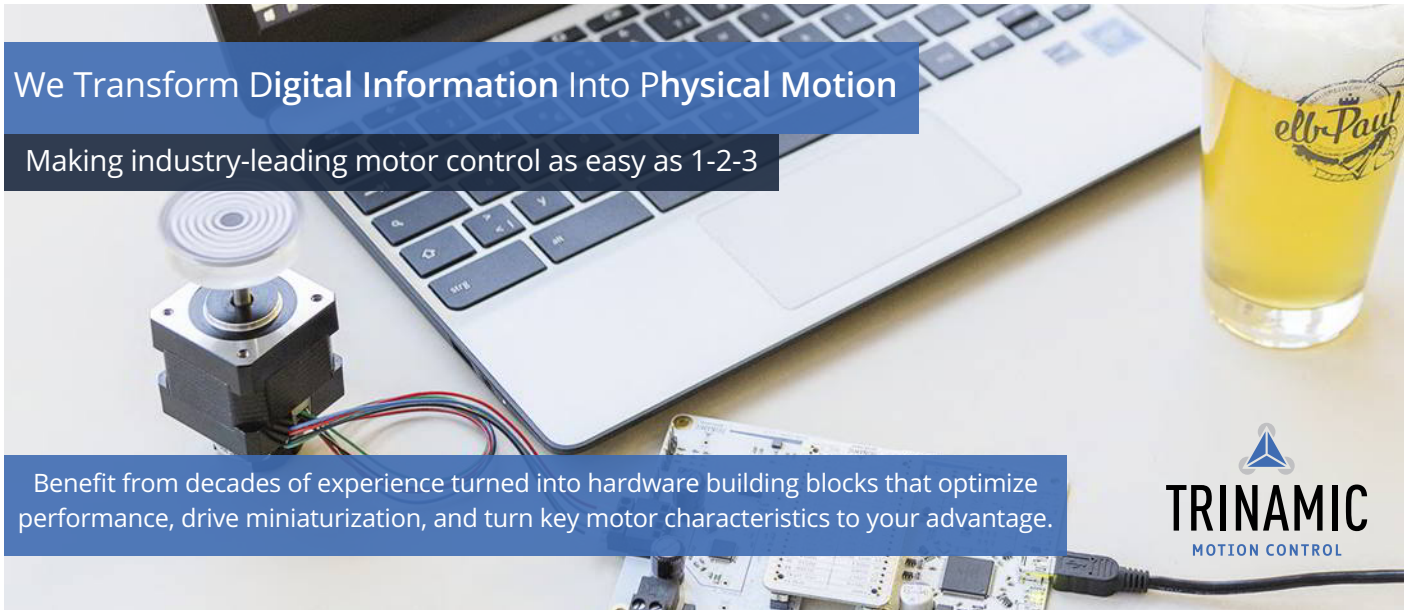
Comme d'habitude, commencez par monter les petits composants,diodes et résistances, puis progressez vers les composants plus encombrants. Notez que R1', R2' et R4' ne doivent pas être montées, R3' par contre doit l'être. Assurez-vous que tous les composants polarisés (dans ce projet, tous sauf les résistances, les condensateurs en céramique et les connecteurs) sont correctement orientés. L'utilisation de supports pour U1, U2 et U3 est fortement recommandée. Passez les fils de la batterie dans deux trous du circuit imprimé avant de les souder sur les pastilles.

Test

Commencez par vérifier l'ensemble de la carte. Pas de court-circuit ? Les circuits intégrés sont-ils bien implantés ?

Placez un cavalier sur l'un des connecteurs de sélection de gamme. Branchez une pile de 9 V. Les LED vertes devraient s'allumer, éventuellement en plus aussi une LED rouge sur le cercle de droite. Trouvez un condensateur d'une valeur connue comprise dans l'une des quatre

Publicité



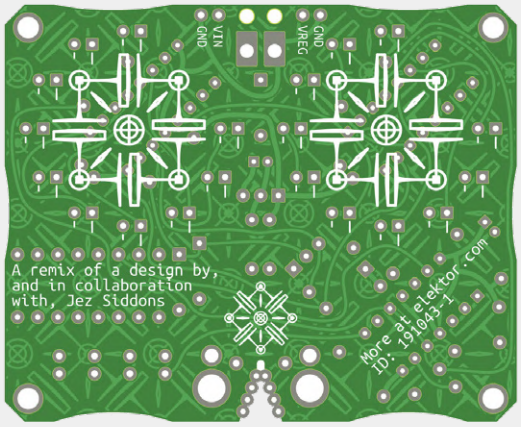
LISTE DES COMPOSANTS

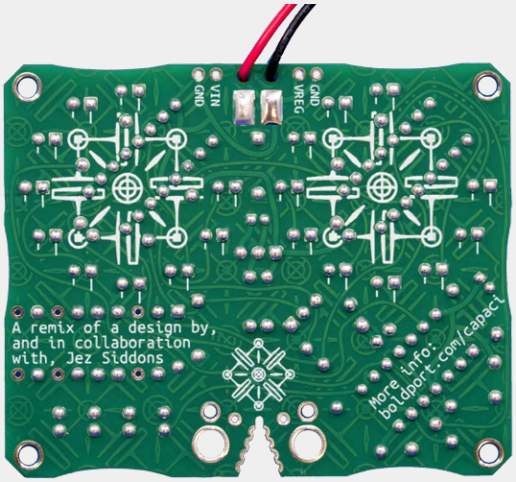
Résistances (1%, 0,25 W)
R1 = 1,5 MΩ
R2 = 150 kΩ
R3,R7,R10 = 13 kΩ
R3',R8,R9,R12 = 1 kΩ
R4 = 560 Ω
R5,R6 = 390 Ω
R11 = 130 kΩ
R1',R2',R4' = optionnelles

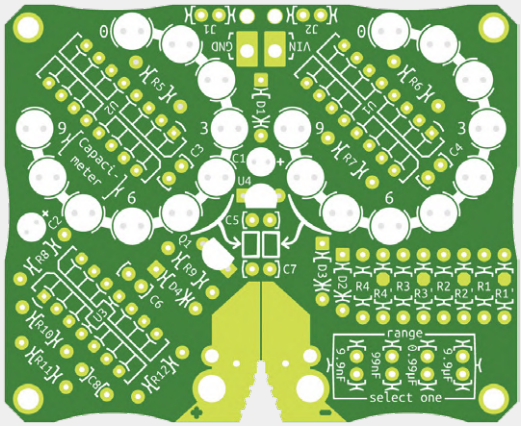
Condensateurs
C1,C2 = 10 µF, 10 V
C3,C4,C5 = 100 nF
C6 = 4,7 nF, 1% ou 5%
C7 = 47 pF
C8 = 10 nF

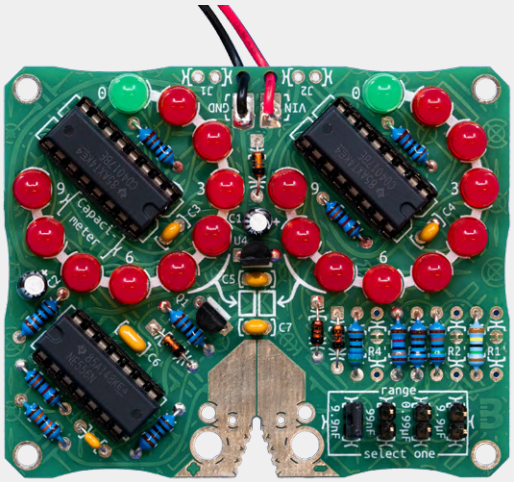
Semi-conducteurs
D1,D2,D3,D4 = 1N4148
Q1 = 2N7000
U1,U2 = CD4017BE
U3 = NE556
U4 = 78L05
LED1-L,LED1-R = LED verte, 5 mm, faible courant ou forte luminosité
LED2-L à LED10-L, LED2-R à LED10-R = 18× LED rouge, 5 mm, faible courant ou forte luminosité

Divers
J1,J2,LK1,LK2,LK3,LK4 = barrette de 2 picots, pas de 2,54 mm
J3 = PP3, connecteur de batterie 9 V
J4 = contacts du condensateur testé









JP1 = cavalier de sélection de calibre
2× support DIL à 16 broches, pas de 7,62 mm pour U1 & U2

1× support DIL à 14 broches, pas de 7,62 mm pour U3
circuit imprimé (PCB) 191043-1

plages de mesure, par exemple 47 nF pour la plage 99 nF. Appliquez le condensateur sur les deux contacts de test ou utilisez des cordons d'essai si vous le souhaitez (les trous dans les contacts conviennent pour des fiches bananes de 2 mm et de 4 mm). La valeur du condensateur doit apparaître sur l'afficheur. Si ce n'est pas le cas, vérifiez la plage sélectionnée et revérifiez vos soudures.

Le *Capaci-Meter* peut être alimenté soit par une batterie de 9 V (J3), soit par une source d'alimentation externe de 7 à 15 V continus connectée à J2.
Ne les connectez jamais en même temps. J1 n'est utilisé qu'à des fins de test ; ne l'utilisez pas comme source d'alimentation.

Salut

Je remercie ici Stephen Bernhoeft pour son œil critique, ses conseils et sa clarté dans le raffinement et la mise à l'épreuve de ce circuit. Merci également à Saar Drimer de *Boldport* pour son circuit imprimé. J'espère que vous apprécierez autant que moi la construction et l'utilisation de ce projet.

(191043-02 VF)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ **SKU19118 Capaci-Meter - circuit imprimé nu (191043-1)**
www.elektor.fr/191043-71

→ **SKU19119 Capaci-Meter - kit (191043-71)**
www.elektor.com/191043-71

Cocomment fifiltrer les rerebonds d'un concontact mémécanique ?

Un interrupteur est soit ouvert, soit fermé, n'est-ce pas ?

Clemens Valens

Il est tentant de considérer les interrupteurs comme de simples dispositifs à deux états, ouverts ou fermés. La plupart du temps, ça passe, mais il y a des situations où ça casse. Une vision aussi simpliste cause des problèmes, car elle ne fait cas ni de la résistance de contact, ni du rebond.

Tout n'est qu'une question de temps

Comme toute chose dans l'univers, les changements d'état prennent du temps. Les changements mécaniques aussi. La plupart des interrupteurs sont des dispositifs mécaniques lents : la stabilisation après un changement d'état peut durer plusieurs dizaines de millisecondes. Lors du changement d'état, le contact rebondit plusieurs fois, comme une balle au sol. Un rebond similaire se manifeste à l'ouverture. Une électronique beaucoup plus rapide que le commutateur mécanique est susceptible de remarquer ces rebonds et d'être dérangée par eux. Ainsi, au lieu de répondre à une seule pression sur un bouton, un système croyant en détecter plusieurs, va effectuer autant d'actions, et parcourir p.ex. des menus, ne laissant aucune chance à l'utilisateur de sélectionner l'option souhaitée.
Pour préserver un système des rebonds, on les supprime. Plusieurs méthodes existent, depuis les filtres RC analogiques jusqu'aux algorithmes logiciels, en passant par les circuits spécialisés. Ils ont en commun (d'essayer) de fournir au système un état de contact défini et stable. Quand on parle de contact, ça peut être un interrupteur ou un bouton-poussoir actionné par une main, mais aussi un contact commandé par une machine comme un microrupteur, un codeur rotatif ou un relais.

Réseau RC anti-rebond

L'idée du réseau RC est de connecter le commutateur à un réseau beaucoup plus lent que le commutateur lui-même. S'il est suffisamment lent, il ne remarquera pas les rebonds à son entrée. La sortie du circuit présente un état stable, bas ou haut, avec des transitions lentes (**fig. 1**). La solution est simple et commode, pas parfaite :

- Lorsque l'hystérésis de l'entrée est insuffisante, en présence de bruit, un signal changeant lentement appliqué à une entrée rapide aura des effets indésirables assez similaires à ceux d'un rebond. Ceci se traduit éventuellement par une consommation d'énergie excessive. Il faut des entrées à trigger de Schmitt du côté de la réception. S'il n'y en a pas, rajoutez-les à votre filtre ;
- Si le réseau est trop lent, des changements d'état courts mais valides risquent d'être perdus ;
- Il faut des composants supplémentaires qui prennent de la place sur la carte et ne sont pas gratuits ;
- Dans la configuration habituelle de commutation à la masse, avec résistance de rappel et réseau RC, l'ouverture et la fermeture du contact ne donnent pas le même résultat. Une diode peut résoudre ce problème (**fig. 1**) mais ça fera une ligne de plus dans la liste des composants requis.

Plus ambitieux

Un verrou SR (*set-reset latch*) ou une bascule D peuvent éliminer les rebonds, mais il faut un inverseur (SPDT) ou un commutateur, toujours plus cher qu'un simple interrupteur SPST. Cette méthode est facile à implémenter par logiciel si vous êtes prêt à sacrifier deux broches par commutateur SPDT.
Un multivibrateur monostable ou un temporisateur peuvent servir aussi, mais, au lieu d'un niveau haut ou bas, ils produisent une impulsion.

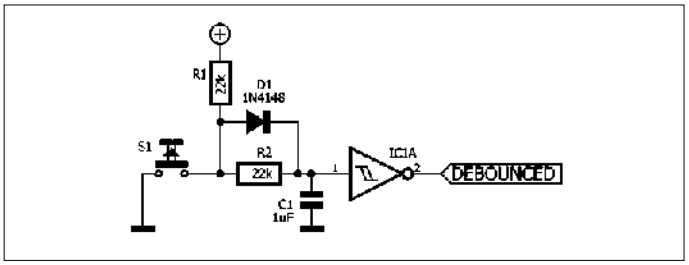


Figure 1. Un réseau RC élimine les rebonds d'un contact mécanique. Les valeurs de R1, R2 et C1 dépendent du contexte, mais les valeurs données ici conviendront dans de nombreux cas. Grâce à D1, l'effet sera le même à l'ouverture et la fermeture du contact.

Il existe des circuits intégrés spéciaux pour éliminer les rebonds. Le MC14490 (**fig. 2**) est un classique, mais il y en a d'autres comme le MAX6816 (canaux multiples MAX6817 & MAX6818) ou le LTC6994. La société *LogiSwitch* s'efforce de gagner sa vie sur le dos des rebonds. *Maxim* également propose des '*Contact Monitors*' qui font leur peau aux rebonds.
L'avantage des circuits intégrés anti-rebonds est d'offrir plusieurs canaux et des fonctions complémentaires comme la protection contre les surtensions et les décharges électrostatiques.

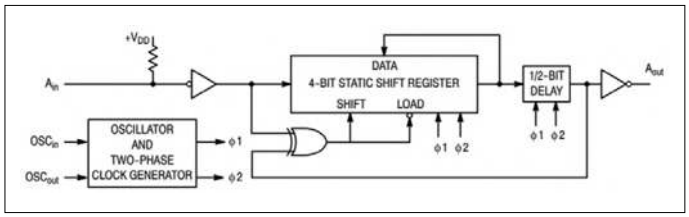


Figure 2. Les entrailles du MC14490, éliminateur de rebonds à 6 voies.

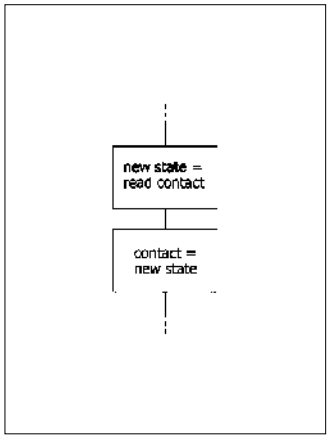


Figure 3. Quand l'état du contact ne doit être relevé qu'à intervalles assez distants, on peut se passer d'un filtrage plus fouillé.

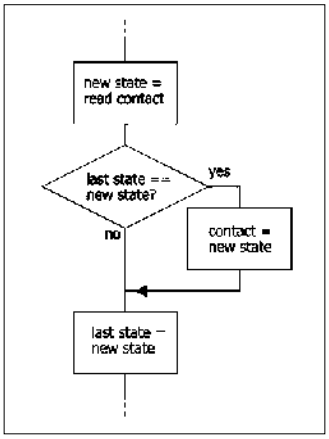


Figure 4. Quand le sondage est lent (<0.1 Hz) deux états consécutifs identiques suffisent pour valider le nouvel état.

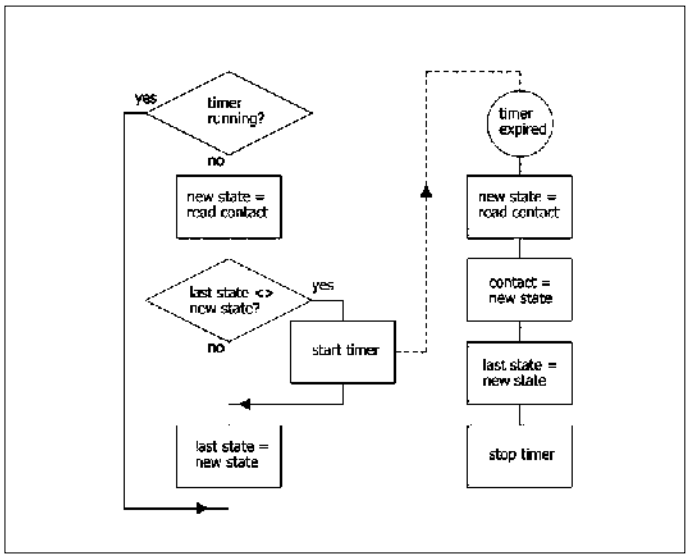


Figure 5. Un changement de niveau lance une temporisation durant laquelle la boucle principale du programme ignorera le contact. À la fin de la temporisation intervient une nouvelle lecture de l'état du contact.

Logiciel contre rebonds

Quand on opte pour un remède matériel contre les rebonds, c'est généralement parce que ça n'est pas passible avec du logiciel. Pourtant, dans de nombreuses applications le µC dispose de ressources suffisantes pour se charger des rebonds. Mais comment ? Faut-il scruter ou plutôt interrompre ?
Quand un µC scrute à intervalle régulier l'état d'un contact, le jargon parle de *polling*. On fait appel pour cela à une minuterie ou fonction de temporisation, ou on laisse le µC sonder les lignes chaque fois qu'il en a le temps. Si l'intervalle est trop long, des changements de niveau sur les lignes peuvent échapper à l'interrogation périodique. Ou n'être détectées que tardivement, ce qui augmente le temps de latence. L'avantage, c'est que l'interrogation n'interfère guère avec les processus critiques en termes de temps. Les interruptions, en revanche, peuvent détecter les transitions d'état de contact aussitôt qu'elles se produisent (la latence est faible), ce qui donne un système réactif. Cependant, si le µC est suffisamment rapide, il peut être interrompu plusieurs fois par des rebonds successifs, ce qui peut entraver les processus critiques en termes de temps ou produire de faux positifs, ou les deux. L'astuce consiste à désactiver les broches d'interruption pendant la phase de rebonds.

Ne dites jamais jamais

On entend dire qu'il ne faudrait jamais connecter de commutateur à une broche d'interruption, au risque de perturber la logique interne de l'entrée d'interruption (ou toute autre raison). Cette généralisation est absurde, tout dépend de l'application. Si les rebonds peuvent bloquer un système, les interférences électromagnétiques et autres bruits peuvent en faire autant. Il faut de toute façon prévoir un filtrage du bruit sur de tels systèmes. La plupart des microcontrôleurs modernes, si ce n'est tous, ont des filtres appropriés sur leurs entrées. Si cela ne suffit pas, insérez un filtre de bruit entre le contact du poussoir (ou de l'interrupteur) et la broche d'entrée du µC.

- **Sondage pépère**

Dès qu'un changement d'état est détecté, accepter le nouvel état, puis vérifier un peu plus tard quand le rebondissement est censé être terminé (**fig. 3**). C'est la méthode facile pour les systèmes lents (interrogation à 25 Hz ou moins), au risque toutefois de confondre un parasite avec une transition valide si par hasard il survient exactement au moment de l'échantillonnage. Remède : exiger deux échantillons identiques consécutifs avant d'accepter le nouvel état (**fig. 4**).

- **Minuterie minutieuse**

À la détection d'un changement d'état, lancer une minuterie qui déclenchera une nouvelle vérification de l'état de l'entrée environ 20 ms plus tard. Adopter comme état du contact la valeur à l'entrée en fin de temporisation (**fig. 5**). Ceci fonctionne aussi bien en mode interrogation périodique qu'en mode interruption, mais nécessite une minuterie. Pour éviter tout stress dû aux rebonds sur la broche d'interruption, il suffit de bloquer les interruptions pendant le fonctionnement de la minuterie.

- **X échantillons identiques sur Y échantillons successifs**

Un pas de plus : exiger deux échantillons identiques (ou plus) avant de valider le changement d'état, ou même trois sur quatre, ou sept sur dix. C'est l'équivalent numérique du réseau d'intégration RC (**fig. 6**). Au lieu d'exiger x des y lectures valides, vous pouvez également exiger z échantillons valides consécutifs. La réactivité dépendra du nombre d'échantillons et de la fréquence d'échantillonnage.

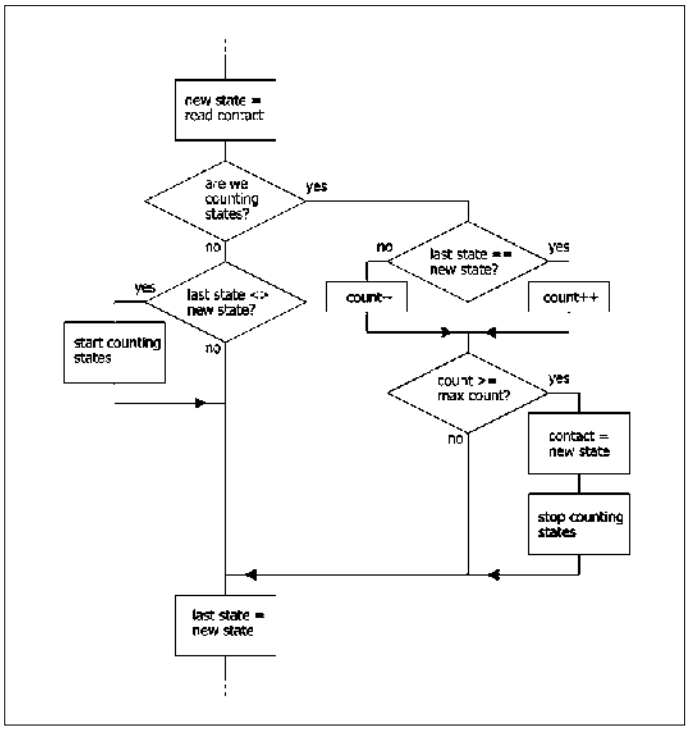


Figure 6. Cet ordinogramme est l'équivalent d'un réseau de filrage RC. Cet exemple adoptera le nouvel état quand le nombre 'max count' d'échantillons identiques aura été compté.

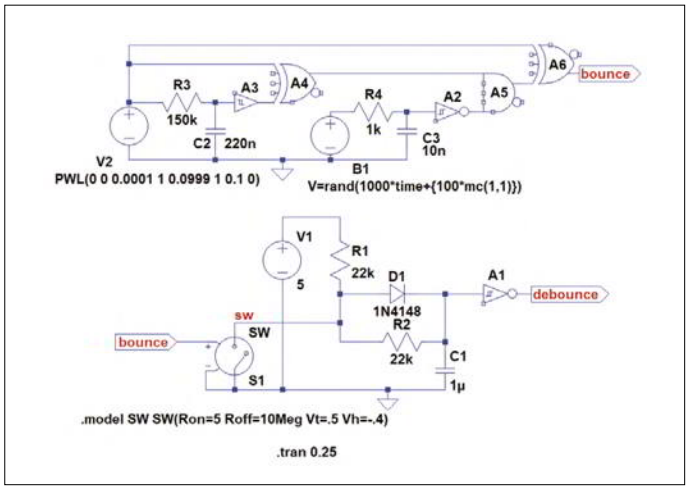


Figure 7. Simulation de rebonds et de suppression dans LTspice. La source de tension V2 produit l'impulsion de fermeture du contact, la source B1 ajoute les rebonds. La valeur de B1 détermine la longueur minimale des rebonds parasites (ici 1 ms). Changez les valeurs de R3/C2 et/ou de R4/C3 pour modifier le comportement des rebonds.

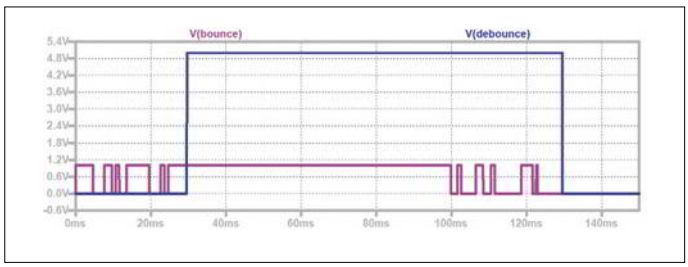


Figure 8. Simulation des rebonds (en rose) et du filtrage (en bleu).

Par exemple ?

Maintenant vous vous attendez probablement à ce que je vous donne un exemple de code à copier-coller dans votre programme. C'est raté, je n'en ai pas. La meilleure implémentation de l'algorithme anti-rebond dépend fortement de l'intelligence du programmeur et des ressources à sa disposition. Cherchez donc l'inspiration dans les organigrammes qui illustrent cet article.

Simulationnez

Les **figures 7** et **8** montrent une simulation LTspice du circuit anti-rebonds RC du début de l'article. Pour que le simulateur produise des résultats différents à chaque exécution, vous devez cocher l'option 'Utiliser l'horloge pour réensemencer le générateur MC[*]' (*Use the clock to reseed the MC generator*) sur l'onglet 'Hacks' du 'Control Panel' (le bouton avec le petit marteau) de LTspice (**fig. 9**). C'est la partie '' de la valeur de B1 qui rend cela possible. Jouez avec les différentes valeurs de R/C pour changer les caractéristiques de suppression de rebonds.

Et maintenant, qu'est-ce qu'on fait ?

Comme pour tous les sujets de l'électronique, de l'ingénierie et en général, il y aurait encore beaucoup à dire. Chaque contact rebondit à sa façon et ses rebonds peuvent changer avec le temps. Les rebonds peuvent être différents à l'ouverture ou à la fermeture. L'usure des contacts et les propriétés de surface ne sont pas invariables ; la surface de contact a une influence sur la conductivité. Certains systèmes exigent des temps de réponse rapides, d'autres s'en fichent et ainsi de suite. Il est donc impossible de dire quelle méthode anti-rebonds est la meilleure pour vous. Avant de décider de la technique à mettre en œuvre, il faut bien connaître et comprendre le système sur lequel il doit filtrer les rebonds. ⏮

191015-02

Lien

[1] LTspice simulation files: www.elektormagazine.com/191015-01

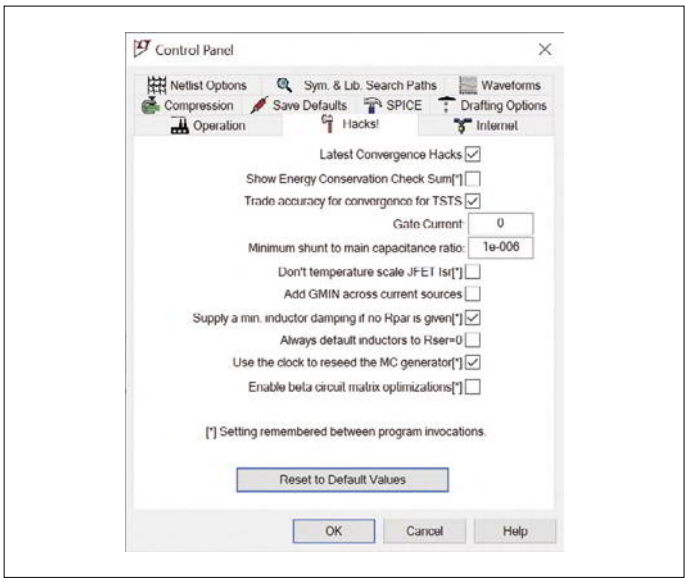


Figure 9. Cochez l'option 'Use the clock to reseed the MC generator[*]' pour obtenir une simulation différente à chaque itération.

filtres analogiques : quelques bases

la magie des réseaux de filtrage est l'un des phénomènes les plus saisissants de l'électronique

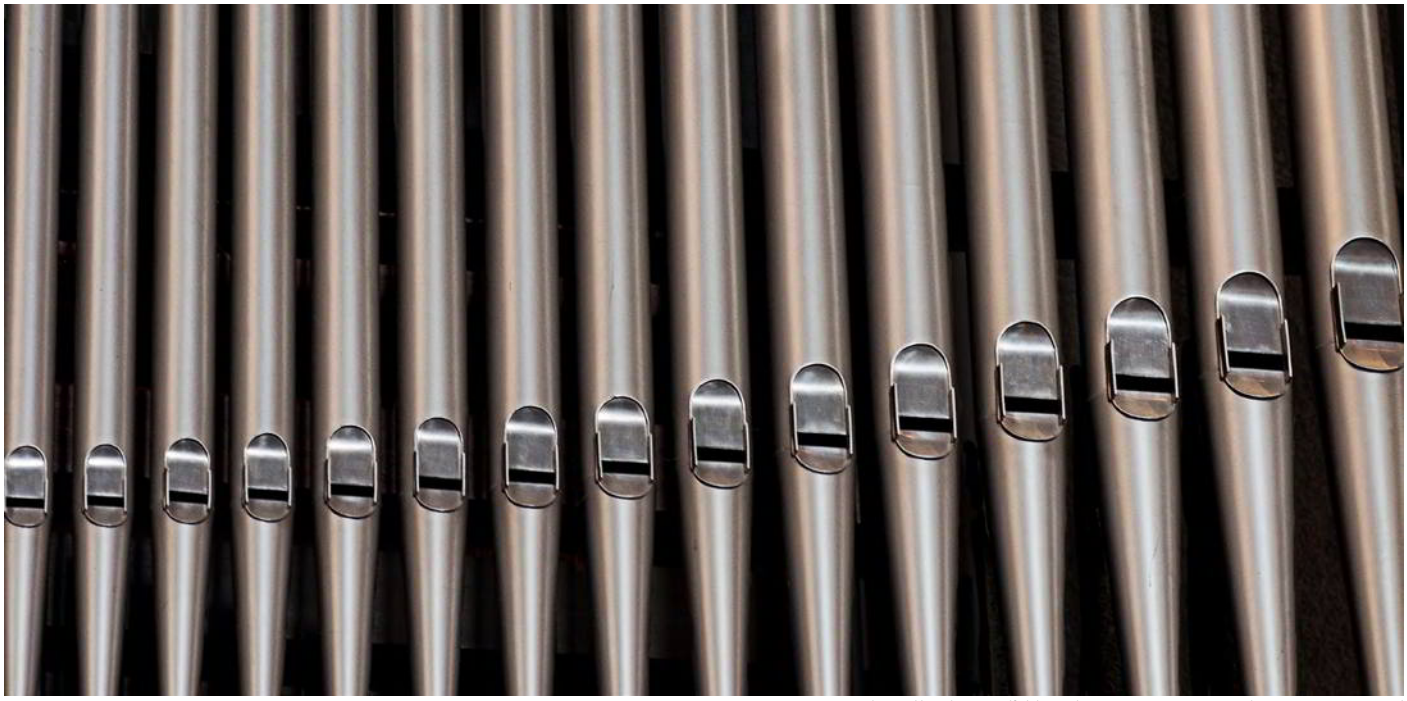


Image : https://pixabay.com/fr/photos/organe-tuyaux-%C3%A9glise-musique-1550156/

Robert Lacoste (Chaville)

Les filtres sont des circuits présents dans de très nombreux projets, tout électronicien doit donc savoir se débrouiller pour bricoler et mettre au point un tel circuit. Malheureusement, la conception de filtres, voire leur utilisation, est souvent perçue comme proche de la magie noire. Pourquoi ? À cause des calculs, sans doute. Ne vous laissez pas intimider, je vous promets qu'on peut aller loin, même sans maths compliquées !

Dans mes derniers articles parus, j'ai parlé d'amplificateurs opérationnels. Ce sont des composants avec lesquels on peut faire des tas de choses, et en particulier construire des filtres dits actifs. Les filtres sont indispensables dans de très nombreux projets, tout électronicien doit pouvoir se débrouiller avec de tels circuits. Et pour commencer, ne pas se laisser effrayer par les concepts mathématiques souvent utilisés : transformation de Laplace, pôles et zéros, et autres notions un peu abstraites mais bien utiles. Sans remettre en cause l'intérêt des maths, je tente ici une présentation pragmatique des filtres : comment spécifier un filtre, comprendre ses principales variantes et utiliser efficacement quelques outils de conception assistée par ordinateur ? Promis, pas de maths compliquées !

Caractéristiques

Commençons par un peu de vocabulaire. Par définition, un filtre est un circuit qui atténue certains signaux plus que d'autres, en général en fonction de leur fréquence. La **figure 1** vous rappelle les types les plus classiques : un filtre passe-bas laisse passer les basses fréquences, mais atténue les signaux de haute fréquence. Il est par exemple parfait pour supprimer le bruit HF sur un signal provenant d'un capteur. Inversement, un filtre passe-haut atténue les basses fréquences. Les filtres passe-bande sont une combinaison des deux et atténuent toutes les fréquences en dessous ou au-dessus d'une plage donnée. Par exemple, dans tout récepteur radio un filtre passe-bande atténue tous les signaux à l'exception de ceux proches de la fréquence voulue. Enfin, un filtre réjecteur de bande (ou coupe-bande) fait le contraire et atténue une gamme de

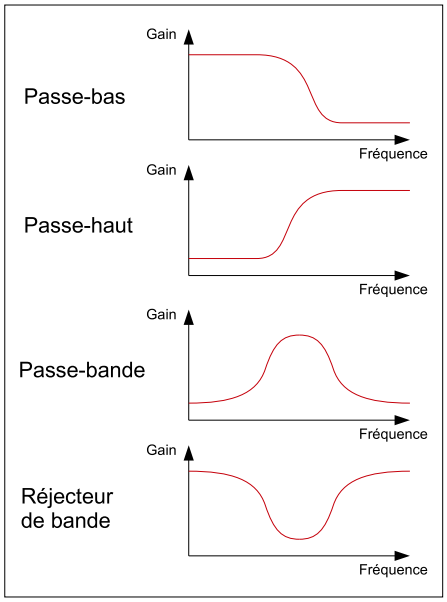


Figure 1. Une petite illustration des quatre types classiques de filtres fréquentiels.

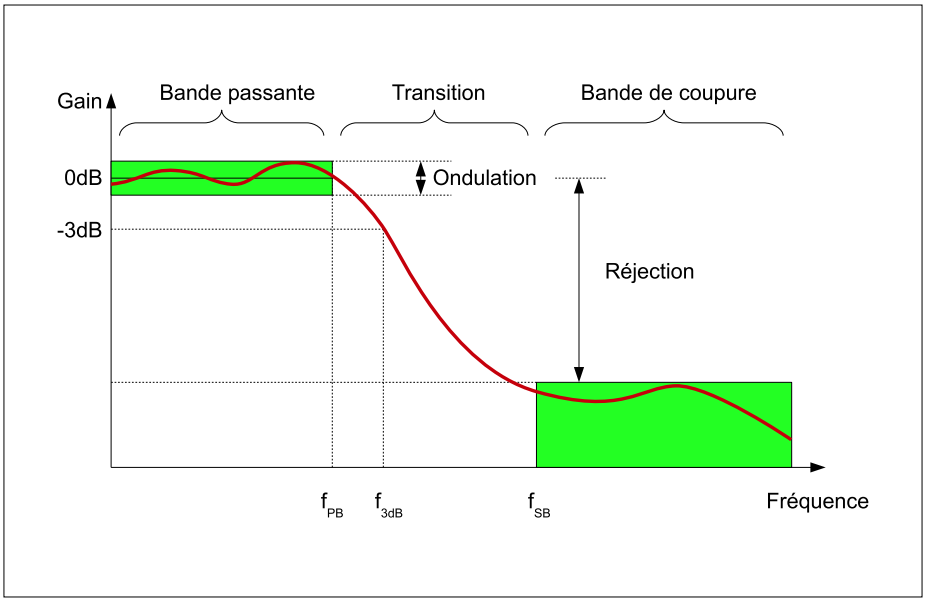


Figure 2. Un filtre, ici passe-bas, est spécifié par sa fréquence de coupure, son ondulation dans la bande passante et sa réjection dans la bande de coupure.

fréquences sélectionnée. Par exemple, un filtre réjecteur de bande centré à 50 ou 60 Hz est présent dans pratiquement tous les pèse-personnes électroniques, pour éliminer les perturbations causées par les lignes secteur environnantes.

Comment spécifier un filtre ? La **figure 2** l'illustre sur l'exemple d'un passe-bas. Le premier paramètre est bien sûr la fréquence de coupure. Par définition, c'est la fréquence à laquelle le filtre atténue la puissance du signal de 50%. Cela signifie que les pertes du filtre seront de 3 dB à cette fréquence. Vous n'êtes pas à l'aise avec les dB ? Le décibel est le 1/10e d'un bel, et un bel est le logarithme du rapport de deux puissances. Prenez votre calculatrice et tapez 10 x log(1/2), vous obtiendrez –3.01, que tout le monde arrondit à –3 dB.

Mais une atténuation de 3 dB est probablement déjà trop importante pour votre application. La variation maximale de la puissance du signal dans la bande passante réellement utilisable (ici de DC à f_{PB}) est appelée ondulation du filtre. Enfin, vous voudrez très probablement spécifier que le filtre doit fournir une atténuation minimale, appelée réjection, au-delà d'une certaine fréquence f_{SB}. Bien sûr, ces spécifications doivent être établies avec soin : un filtre avec 0,01 dB d'ondulation jusqu'à 10 kHz et 100 dB de réjection à partir de 11 kHz est théoriquement envisageable, mais vous aurez besoin de beaucoup de temps et d'argent pour sa conception...

Filtres RC

Commençons par les filtres les plus basiques, les filtres RC. Le filtre passe-bas le plus simple est une résistance R suivie d'un condensateur C raccordé à la masse (**figure 3**). L'impédance du condensateur diminue lorsque la fréquence augmente, d'où une atténuation croissante. Ce filtre est dit d'ordre 1, et fournit une atténuation de 6 dB par octave. Ceci veut dire que l'atténuation augmente de 6 dB à chaque doublement de la fréquence. Son atténuation est de 20 dB par décade, c'est-à-dire lorsque la fréquence est multipliée par 10 (c'est bien la même chose. Un indice pour ceux qui se demandent pourquoi : $2^{3,33} = 10$, et 3,33 x 6 = 20...). Regardez à nouveau la figure 3, j'ai simulé ce filtre pour vous en utilisant *Proteus* (*Labcenter*) [1]. Vous pouvez faire la même chose avec n'importe quel simulateur basé sur *Spice* comme l'excellent et gratuit LT-Spice. La simulation le montre, l'atténuation de ce filtre RC est de –20 dB à 100 kHz, et de –40 dB à 10 x 100 kHz = 1 MHz, 20 dB de plus comme prévu. Les valeurs de R et C sont faciles à calculer : la fréquence de coupure est 1/(2πRC) soit ici 10 kHz. Vous faut-il un filtre plus raide, c'est-à-dire atténuant plus vite les hautes fréquences ? Simple, vous pouvez enchaîner plusieurs cellules RC. Par exemple, j'ai simulé un filtre RC d'ordre 2, constitué de deux cellules RC en série (figure 3). L'atténuation est maintenant de 2 x 6 = 12 dB par octave, ou 2 x 20 = 40 dB par décade. Rien de

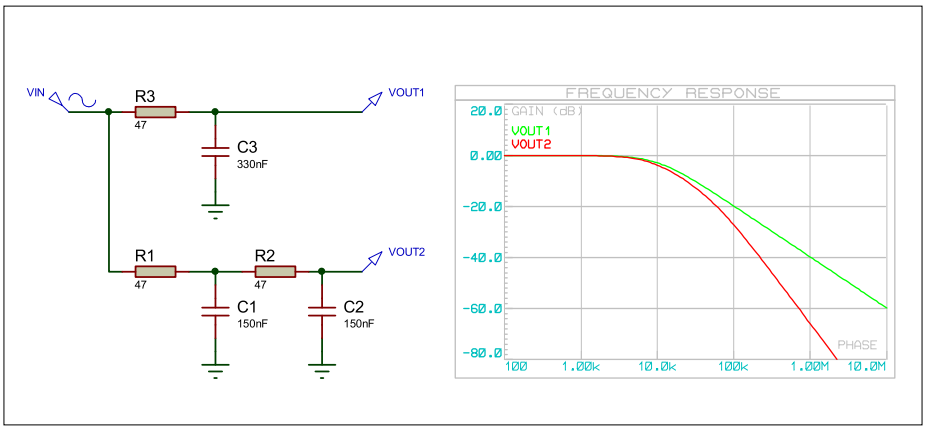


Figure 3. Un filtre RC d'ordre 1 (en haut) fournit une atténuation de 20 dB/décade comme le montre la courbe verte, contre 40 dB/décade pour un filtre d'ordre 2 (rouge).

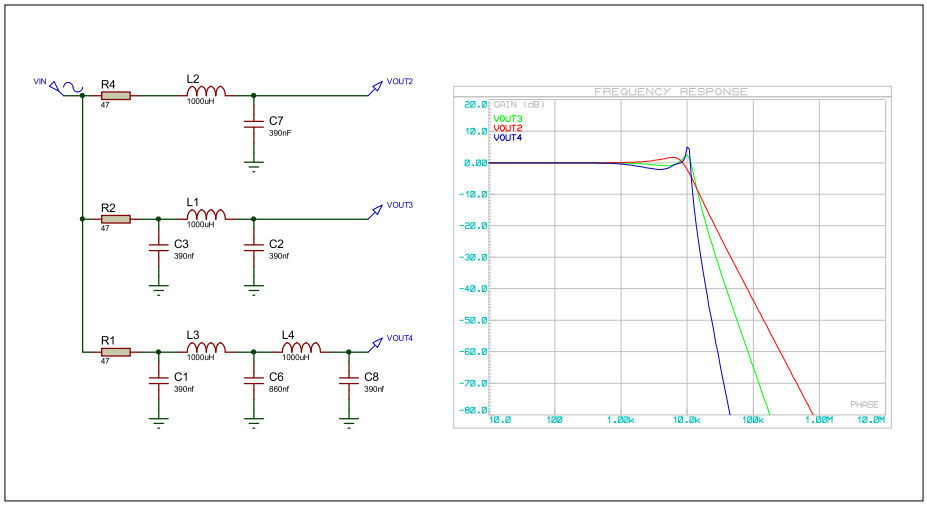


Figure 4. Cette simulation montre la réponse en fréquence de trois filtres LC, respectivement d'ordre 2, 3 et 5 (de haut en bas). Leurs sorties sont en l'air, d'où un dépassement sur les courbes de réponse.

magique. La fréquence de coupure à 3 dB est décalée vers le bas par rapport à une seule cellule RC, simplement parce qu'à la fréquence où chaque cellule atténue de 3 dB, l'atténuation totale est de 6 dB. Il faut donc changer un peu la valeur des composants pour conserver la même fréquence de coupure.

Et pour les autres types de filtre ? S'il vous faut un filtre passe-haut, permutez simplement les condensateurs et les résistances. Un passe-bande ? Il suffit de connecter en série une cellule passe-bas et une cellule passe-haut avec les fréquences de coupure appropriées. Et pour un filtre coupe-bande ? Connectez deux cellules passe-haut et passe-bas entre le signal et la masse. Simplissime, non ?

Filtres LC

Maintenant comment construire un filtre plus performant qu'un filtre RC, avec le même nombre de composants ? Avec un filtre LC. Un tel filtre est fabriqué avec des condensateurs et des inductances (**figure 4**), et non plus des résistances. Quelle est la pente d'un tel filtre ? Super facile : comptez le nombre de condensateurs, ajouter le nombre d'inductances, vous obtenez l'ordre du filtre. La règle marche d'ailleurs aussi pour les filtres RC. Multipliez ensuite cet ordre par 6 dB pour obtenir l'atténuation par octave, ou par 20 dB pour une atténuation par décade. Par exemple, le premier filtre simulé sur la figure 4 a une inductance et un condensateur. Deux composants, donc c'est un filtre d'ordre 2, avec la même atténuation de 12 dB par octave que l'exemple du double RC de la figure 3. L'exemple du bas a trois condensateurs et deux inductances, donc son atténuation est de 5 x 20 = 100 dB par décade ou 5 x 6 = 30 dB par octave.

Ultra-simple… Enfin, presque. Voyons maintenant les petits détails. Si vous regardez à nouveau la figure 4, vous verrez que ces filtres LC ont une réponse bizarre autour de leur fréquence de coupure : il y a un dépassement, ce qui signifie qu'ils ont un gain positif à certaines fréquences. Bien sûr, ces filtres passifs ne peuvent pas "créer de l'énergie", ce gain positif est dû au fait que leur sortie est en circuit ouvert et qu'aucune énergie ne circule. Ne vous méprenez pas, ce n'est pas un artefact de la simulation, ce serait exactement la même chose sur un circuit réel : la tension mesurée à la sortie du filtre peut être supérieure à celle appliquée à l'entrée. L'amplitude du dépassement est directement liée au facteur de qualité des composants L et C, et en particulier à leur résistance série. Si les condensateurs et les inductances sont idéaux, le dépassement sera infini à la fréquence à laquelle L et C résonnent. C'est pourquoi j'ai ajouté une petite résistance série sur les simulations de la figure 4. Si vous changez la valeur de cette résistance, la forme de la courbe change. Je l'ai illustré sur la **figure 5** (graphique du haut), avec une résistance série comprise entre 5 et 100 Ω.

Comment éviter de telles oscillations ? En connectant la sortie du filtre à une impédance appropriée, égale à l'impédance de la source. Regardez le deuxième exemple de la figure 5 : ici j'ai ajouté une résistance de charge R3 de même valeur que la résistance source R2 (notée X). J'ai ensuite simulé le circuit avec des valeurs différentes pour ces résistances X, allant de 5 à 100 Ω. La courbe varie selon l'impédance, mais il n'y a jamais de dépassement. De plus, une valeur de résistance précise fournit une réponse très propre et plate, liée aux valeurs de L et C. Cette valeur, ici 50 Ω, est l'impédance caractéristique du filtre LC. Les filtres LC doivent donc être calculés pour obtenir la réponse en fréquence requise tout en tenant compte de l'impédance de la charge. Pour les filtres d'ordre 2 (une inductance et un condensateur), les calculs sont simples. La fréquence de coupure est f3dB=1/[2π.√(LC)], et l'impédance caractéris-

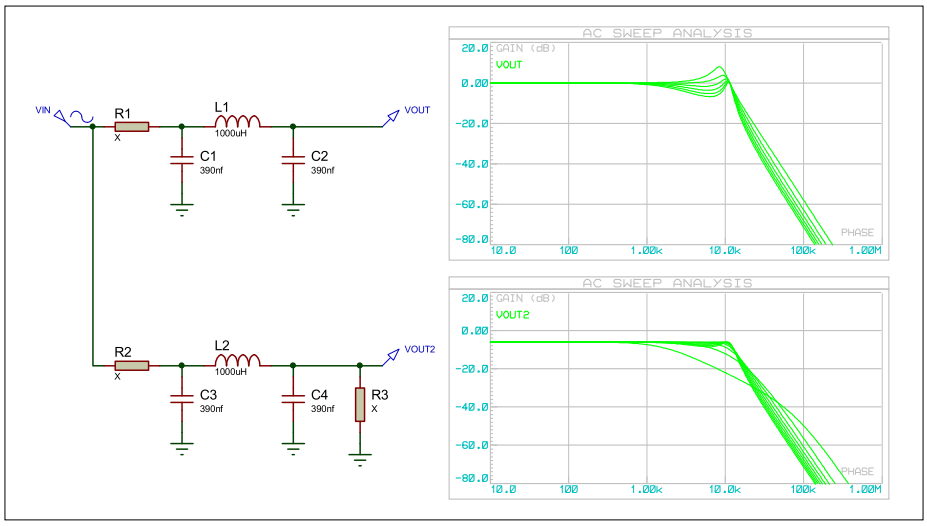


Figure 5. Réponse en fréquence d'un filtre LC à sortie ouverte, avec une résistance série R1 variable (en haut). Le dépassement disparaît lorsque le filtre est connecté à une charge X adaptée (en bas).

tique est Z=√(L/C). Si vous connaissez la fréquence de coupure et l'impédance requise, vous pouvez facilement calculer L et C à partir de ces deux formules. Le calcul n'est pas aussi simple pour les filtres d'ordre supérieur, d'autant plus que les choix de conception sont nombreux comme nous le verrons un peu plus loin. Heureusement de nombreux outils de conception de filtres LC sont disponibles sur la toile [2]. *Coilcraft* met même à votre disposition un outil [3] permettant ensuite de commander en un clic les échantillons d'inductances nécessaires.

Du filtre LC au filtre actif

Les filtres LC sont très performants, et sont très utilisés en particulier en HF ou en électronique de puissance. Par contre l'utilisation d'inductances n'a pas que des avantages surtout dans les basses fréquences : ces composants peuvent être encombrants et chers, et ont souvent des résistances série importantes. Comment conserver les performances d'un filtre LC sans utiliser d'inductance ? Avec un filtre actif, le plus souvent construit autour de notre ami l'amplificateur opérationnel.

Il y a grosso-modo trois façons pour concevoir un filtre actif. La première est d'ajouter un AoP après un filtre passif. Cela permet de réduire son impédance de sortie ou d'augmenter son gain, mais l'intérêt s'arrête là. La deuxième est ce qu'on appelle les filtres à capacités commutées, et j'en parlerai dans mon prochain article. Reste la troisième option, qui est basée sur ce qu'on appelle des gyrateurs. Qu'est-ce que c'est que ça encore ? Un gyrateur [4] est un circuit qui « imite » le comportement d'une inductance, en utilisant un amplificateur opérationnel et uniquement des résistances et des condensateurs. Vous trouverez beaucoup de littérature sur le sujet, par exemple dans la bible, je veux dire dans *The Art of Electronics* d'Horowitz & Hill [5]. Il y a aussi une présentation claire du sujet écrite par Rod Elliott de ESP (*Elliott Sound Products*) [6] et publiée sur le web.

Voyons de quoi il s'agit (**figure 6**). La partie supérieure de la figure est un filtre passe-haut LC classique d'ordre 2 avec impédances adaptées. J'ai utilisé un condensateur de 390 nF et une inductance de 1 mH, ça donne une fréquence de coupure de 8 kHz et une impédance caractéristique de 50 Ω, proche de la valeur standard de 56 Ω. La courbe de réponse ne vous surprendra pas, elle montre une atténuation de 2 x 20 = 40 dB par décade (courbe verte). Son gain est de −6 dB dans la bande passante, car la tension est divisée par deux en raison des résistances de source et de charge égales (la tension est divisée par deux par ces deux résistances, donc la puissance est divisée par 2^2 = 4, soit −6 dB. Vous vous rappelez ? $P = U^2/R$).

Regardez maintenant la partie centrale du schéma, toujours sur la figure 6. Le circuit est exactement le même mais j'ai remplacé l'inductance par un AoP, un condensateur et deux résistances. Ce circuit est un gyrateur. La réponse en fréquence de ce circuit (courbe rouge) est exactement la même que celle de la version LC, au moins jusqu'à 1 MHz. En dessus les performances de l'AoP commencent à être trop limitées. On a donc remplacé une inductance par un AoP, un condensateur et deux résistances.

Maintenant un peu de magie : comparez ce schéma du milieu avec celui représenté dans la partie inférieure de la figure 6. Déplacez mentalement les composants et les fils, vous verrez qu'ils sont identiques, sauf que la sortie est maintenant directement connectée à la sortie de l'AoP. Ce dernier schéma vous dit quelque chose ? C'est le schéma d'un filtre passe-haut d'ordre 2 dit de Sallen-Key (inventé par R.P. Sallen et E.L. Key au *MIT Lincoln Lab* en 1955). J'ai modifié les valeurs des composants pour avoir des valeurs plus standard, mais vous pouvez voir que la réponse en fréquence est toujours la même. De plus il n'y plus cette perte de 6 dB car le signal est pris directement à la sortie de l'AoP. Les filtres de type Sallen-Key et les gyrateurs sont donc plus que cousins.

Réponses classiques

Revenons à la conception d'un filtre. Pour un filtre d'ordre 1 ou 2, on n'a pas beaucoup de latitude : on peut choisir la fréquence de coupure et l'impédance caractéristique, mais c'est tout. Par contre, pour des filtres d'ordre supérieur, le choix est plus vaste : le filtre est constitué de plusieurs étages, et chacun peut être modifié indépendamment. Un filtre d'ordre élevé permet donc à la fois une pente plus raide et un meilleur contrôle sur la forme de la réponse.

> Un filtre d'ordre élevé permet donc à la fois une pente plus raide et un meilleur contrôle sur la forme de la réponse

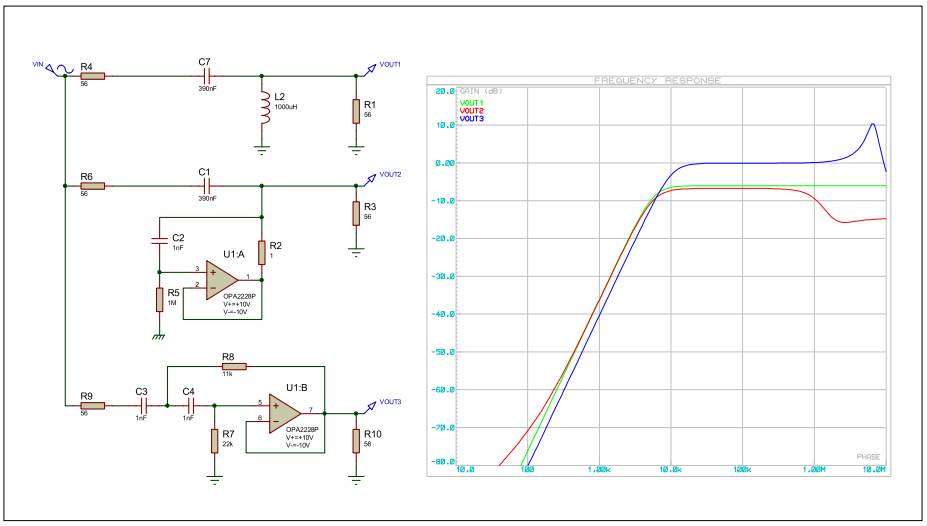


Figure 6. Transformation d'un filtre passe-haut LC (en haut) en un circuit à base de gyrateur (au milieu), très proche du filtre Sallen-Key (en bas).

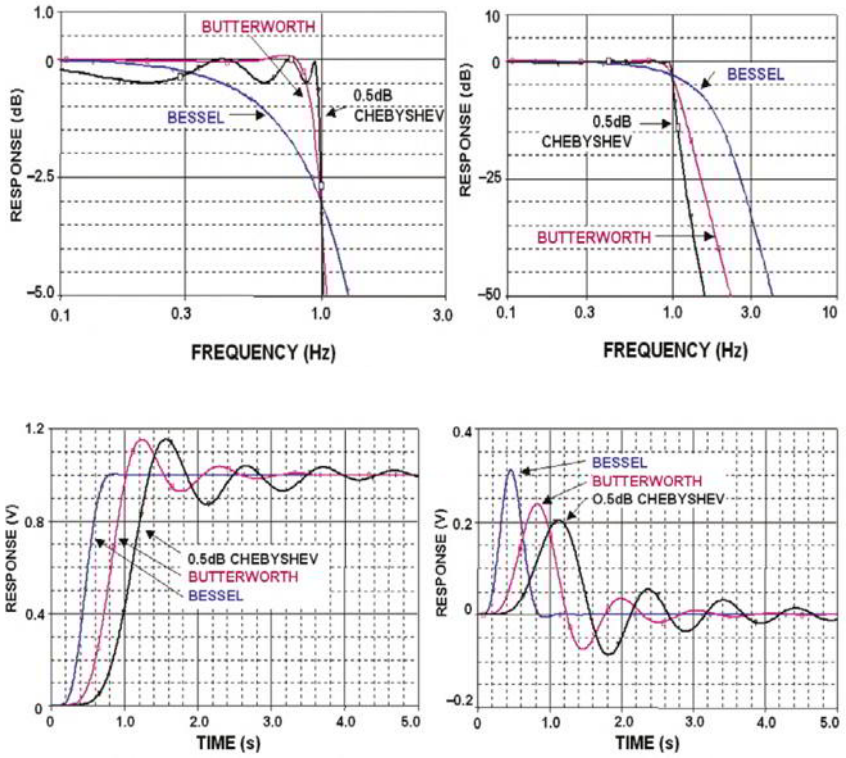


Figure 7. Réponse en fréquence et en temps des trois variantes de filtre les plus courantes. Source : *Linear Circuit Design Handbook*, Hank Zumbahlen / *Analog Devices*.

Rien ne vous empêche de concevoir votre propre filtre, en ajustant chaque étage comme vous le voulez. Cependant les mathématiciens ont bien travaillé ce sujet, et ont calculé plusieurs filtres "optimaux" en fonction de l'application voulue, pour un ordre donné s'entend. Vous voulez une courbe de réponse aussi plate que possible dans la bande passante ? Ne vous fatiguez pas, Stephen Butterworth l'a calculé pour vous en 1930, le résultat s'appelle bien sûr le filtre de Butterworth. Préférez-vous une réjection aussi forte que possible, en tolérant une certaine ondulation dans la bande passante, par exemple 1 dB ? Utilisez un filtre de Tchebychev, dérivé des polynômes de Tchebychev. Les filtres dits elliptiques en sont de proches cousins.

La dernière variante courante, le filtre de Bessel, est un peu plus complexe à comprendre. Ces filtres ne sont pas très bons ni en terme de planéité ni en terme d'atténuation, mais ont un avantage clé dans le domaine temporel : leur « retard de groupe » est presque plat. Cela nous amènerait un peu loin, mais cette caractéristique préserve au mieux la forme temporelle des signaux filtrés. Gardons le sujet pour un autre article.

Liens

[1] Simulateur 'Proteus VSM mixed-signal simulator' : www.labcenter.co.uk

[2] Outil en ligne 'Tony Fisher's LC filter designer' : http://www-users.cs.york.ac.uk/~fisher/lcfilter/

[3] Outil en ligne 'Coilcraft LC filter designer' : www.coilcraft.com/apps/lc_filter_designer/lc_filter_designer.cfm

[4] Gyrateur : https://moodle.supelec.fr/rdk/base/index.php?idFiche=77&cle=gyrateur

[5] 'The Art of Electronics', 3rd edition, Paul Horowitz and Winfield Hill, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-80926-9 [version française éditée par Elektor : « Traité de l'électronique analogique & numérique » (volume 1, ISBN 978-2-86661-168-2 et volume 2, ISBN 978-2-86661-071-5). Ouvrages épuisés chez Elektor, mais disponibles d'occasion.

[6] 'Active Filters Using Gyrators - Characteristics, and Examples', Rod Elliott, ESP : http://sound.westhost.com/articles/gyrator-filters.htm

[7] 'Linear Circuit Design Handbook', Hank Zumbahlen, Analog Devices Newnes, 2008 , ISBN 978-0-7506-8703-4 :

[8] Chapitre sur les filtres en PDF : www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-09/EDCh%208%20filter.pdf

[9] Outil en ligne 'Analog Filter Wizard' : www.analog.com/designtools/en/filterwizard/

[10] Page de l'article : www.elektormagazine.fr/191089-01

Bien sûr, chaque variante a ses inconvénients. À ordre égal, une plus grande ondulation dans la bande passante doit être acceptée pour obtenir une plus grande atténuation dans la bande d'arrêt, et réciproquement. C'est la vie, mais vous, le concepteur, pouvez faire le meilleur choix... Pour vous aider à comprendre les principales caractéristiques de ces variantes, j'ai reproduit sur la **figure 7** leurs réponses caractéristiques. Ces courbes proviennent d'un très bon livre sur le sujet, écrit par Hank Zumbahlen (*Analog Devices*) [7]. Le chapitre *Filtres analogiques* de ce livre est d'ailleurs disponible en pdf [8] sur le site web de ce fabricant (voir les liens ci-dessous), je vous encourage à y jeter un œil.

De beaux outils !

Il y a donc de nombreuses options pour la conception d'un filtre, en particulier pour un filtre actif. Heureusement, d'excellents outils sont là pour vous aider. Certains sont ultra-performants mais financièrement inaccessibles pour l'amateur, mais beaucoup sont gratuits. Plusieurs fournisseurs d'AoP proposent un outil qui vous aidera à concevoir un filtre, en utilisant ses produits maison bien sûr : *Analog Devices* (*Analog Filter Wizard*) [9], *Texas Instruments* (*Webbench Filter Designer*), *Microchip* (*FilterLab*), et quelques autres. À titre d'exemple, la **figure 8** vous montre l'interface de l'outil d'*Analog Devices*. On sélectionne le type de filtre (ici un passe-bas), le gain requis dans la bande passante, la fréquence de coupure et l'atténuation souhaitée à une fréquence de coupure donnée. Un curseur permet de visionner plusieurs designs possibles. La fenêtre suivante permet de sélectionner la tolérance souhaitée pour les composants passifs et obtenir le schéma complet du filtre. Enfin, les courbes de réponse sont tracées, y compris leur dispersion possible en tenant compte de la tolérance des composants. D'autres options permettent de calculer la consommation énergétique ou le bruit du circuit. Bien sûr, la beauté d'un tel outil est de vous permettre d'essayer des dizaines de solutions en quelques minutes, et choisir le filtre qui convient le mieux à vos spécifications et à votre budget.

Pour conclure

Nous y voilà. Comme d'habitude je n'ai fait qu'effleurer le sujet mais j'espère que vous avez saisi les concepts de base. Surtout n'hésitez pas à expérimenter par vous même : posez la revue maintenant, téléchargez l'un des outils de conception de filtre présentés et jouez avec les paramètres. Puis prenez votre fer à souder et essayez. Vous ne risquez rien, et ce sera la meilleure façon de vraiment comprendre ce qu'est un filtre. Amusez-vous bien !

Dans mon prochain article, je vous présenterai une autre technique de réalisation de filtres analogiques : les filtres à capacités commutées. ⏮

191089-01

Cet article a été publié dans la revue Circuit Cellar (n°307, février 2016).

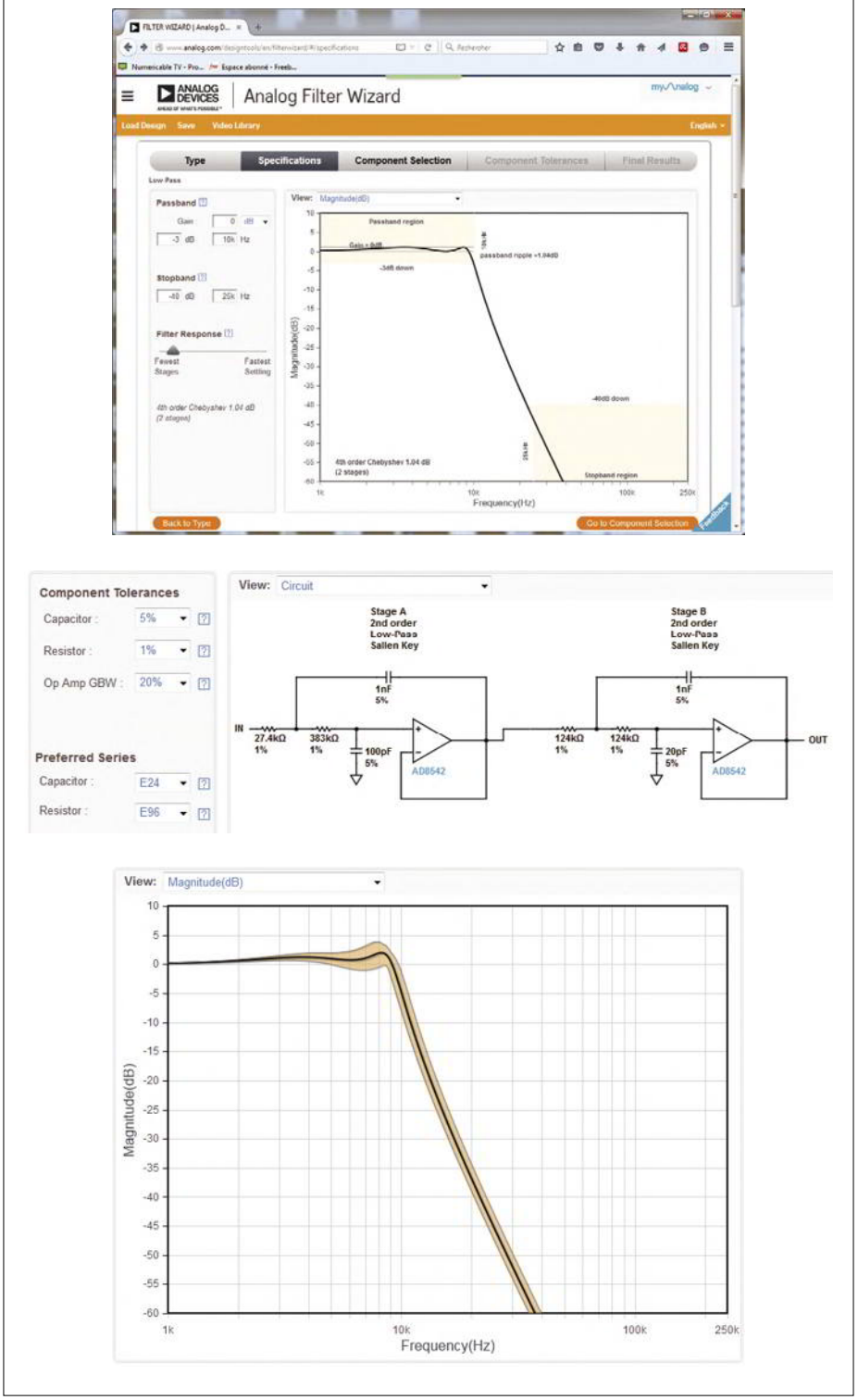


Figure 8. Avec un outil comme *Analog Filter Wizard* (*Analog Devices*), la vie est facile !

bureau d'études – Zone D

D comme développement, débrouille et dur-à-cuire !

Clemens Valens (Elektor Labs)

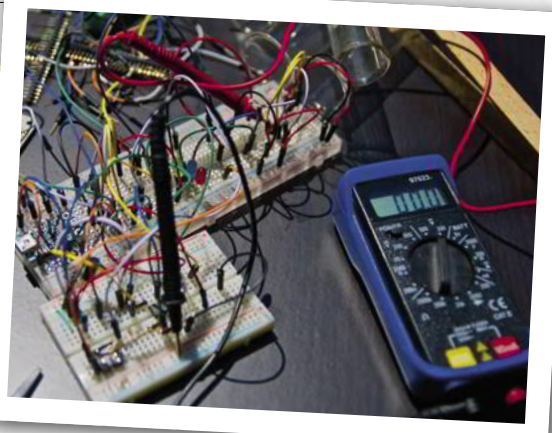
DE L'IDÉE AU PRODUIT

3E PARTIE

Dans les épisodes précédents de cette chronique, j'ai déjà mentionné quelques points critiques à considérer avant même de commencer l'étude d'un produit. Je n'y reviendrai plus et je suppose ces questions-là résolues à ce stade. Vous avez trouvé des solutions appropriées ? Alors concevons maintenant !

DÉMONSTRATION DE FAISABILITÉ

Vous avez une liste de spécifications, la chose à faire maintenant est de trouver une *preuve de concept* (PoC) de votre produit, une sorte de proto qui concrétise ce que vous avez en tête. Inutile d'implémenter toutes les fonctions ni d'épuiser toutes les options, l'essentiel, à ce stade, ce sont les fonctions principales. Il s'agit de débusquer les impossibilités techniques ou physiques. Si votre PoC refuse de fonctionner, soit vous laissez tomber maintenant, soit vous reprenez votre étude à zéro. Cela n'aurait pas de sens, sans refaire l'étude de marché, de vous contenter de renoncer aux spécifications impossibles à respecter. Car le produit final ne serait plus conforme aux désirs de l'utilisateur potentiel.



La démonstration de faisabilité doit concrétiser au moins la fonction principale du produit.

Simulez, simulez, il en sortira toujours quelque chose.

SIMULEZ, SIMULEZ, IL EN SORTIRA TOUJOURS QUELQUE CHOSE

Beaucoup de concepteurs sont réticents face aux simulateurs, non sans raisons d'ailleurs. Si celles-ci étaient sans doute valables il y a vingt ans, le sont-elles encore aujourd'hui ? Un bon simulateur peut vous faire gagner du temps et de l'argent ; certains sont gratuits. Encore faut-il savoir s'en servir, et interpréter correctement ses résultats. Un simulateur offre une batterie d'outils de mesure dont vous ne pouvez que rêver. Question alimentation de puissance, un simulateur ne connaît aucune limite. Sur un simple clic, il vous sort n'importe quelle forme d'onde, tension ou courant. Avec un simulateur, jamais les sondes ne glissent des points de test. Jamais elles ne provoquent de courts-circuits. Des milliers d'ampères peuvent passer à travers un transistor sans le griller. Et pour remplacer un composant simulé, pas besoin de fer à souder.

LES SIMULATIONS NE FONCTIONNENT JAMAIS EN VRAI

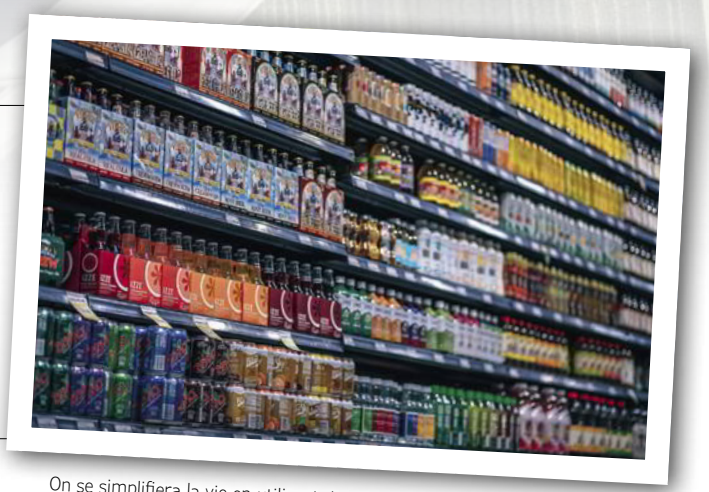
Si la réalité et simulation ne correspondent pas, c'est peut-être que la réalité n'est pas assez bonne : les mauvais contacts de votre circuit d'expérimentation, les fils trop longs… ces défauts-là n'existent pas dans la simulation, environnement virtuel dépourvu de parasites . Une simulation aussi peut être améliorée. Utilisez les modèles SPICE fournis par les fabricants plutôt que des modèles génériques de composants. N'oubliez pas de tester les modèles utilisés. Ajoutez-y des tolérances, des sources de bruit et d'autres facteurs de trouble comme les impédances internes.

NE VOUS DISPERSEZ PAS

Il faut non seulement bien connaître le simulateur, mais aussi savoir résister. En cherchant à répondre à toutes les questions « Et si ? », vous risquez de perdre des heures sur d'obscures options ou sur des composants pas indispensables. Ne vous dispersez pas. Sachez prendre du recul. Assurez-vous que votre simulation reste valide.

TENEZ-VOUS-EN AU COTS

Pour le PoC, vous pouvez franchir les limites de coût spécifiées. Vous pouvez le construire à partir de modules, de composants et de cartes courants du commerce (COTS). Évitez les composants de récupération, plus tard ils pourraient vous causer des problèmes d'approvisionnement ou d'obsolescence. Idem pour les cartes, les modules et les composants apparemment « tout neufs », et qui en fait prennent la poussière sur vos étagères depuis des années.



On se simplifiera la vie en utilisant des composants du commerce (COTS) chaque fois que c'est possible.

MÉFIEZ-VOUS DES FAUX-FRÈRES

Si pour votre produit fini il vous faut un µC microscopique difficile à manipuler, vous pouvez y substituer dans le PoC une carte de développement conçue pour cela par le fabricant. Mais gardez-vous, si un tel substitut n'existe pas, de le remplacer par « *quelque chose de similaire* ». Votre circuit va peut-être fonctionner spécifiquement avec ce faux-jumeau, mais pas avec l'original. Idem pour la carte d'évaluation : évitez d'en faire la pièce maîtresse de votre PoC.

LES QUESTIONS SUBTILES SONT LES PLUS DÉLICATES

Au cours de l'étude du PoC, peuvent surgir divers problèmes subtils, tels que l'incompatibilité des niveaux de signal, des différences de synchronisation et de chronologie, des fiches techniques incompréhensibles et autres interférences. Parfois, ça s'arrange simplement en changeant un composant. Mais est-ce une solution viable que de recourir à un composant quatre étoiles, avec spécifications militaires et bande passante en THz ? Si pour contourner un problème, vous avez besoin d'une tripotée de nouveaux composants, vous êtes peut-être aussi dans une impasse. Dans ces deux cas, avant de continuer, songez à réviser certains principes de fonctionnement. N'hésitez pas à retourner sur le simulateur pour comprendre.

ET LA PROCHAINE FOIS ?

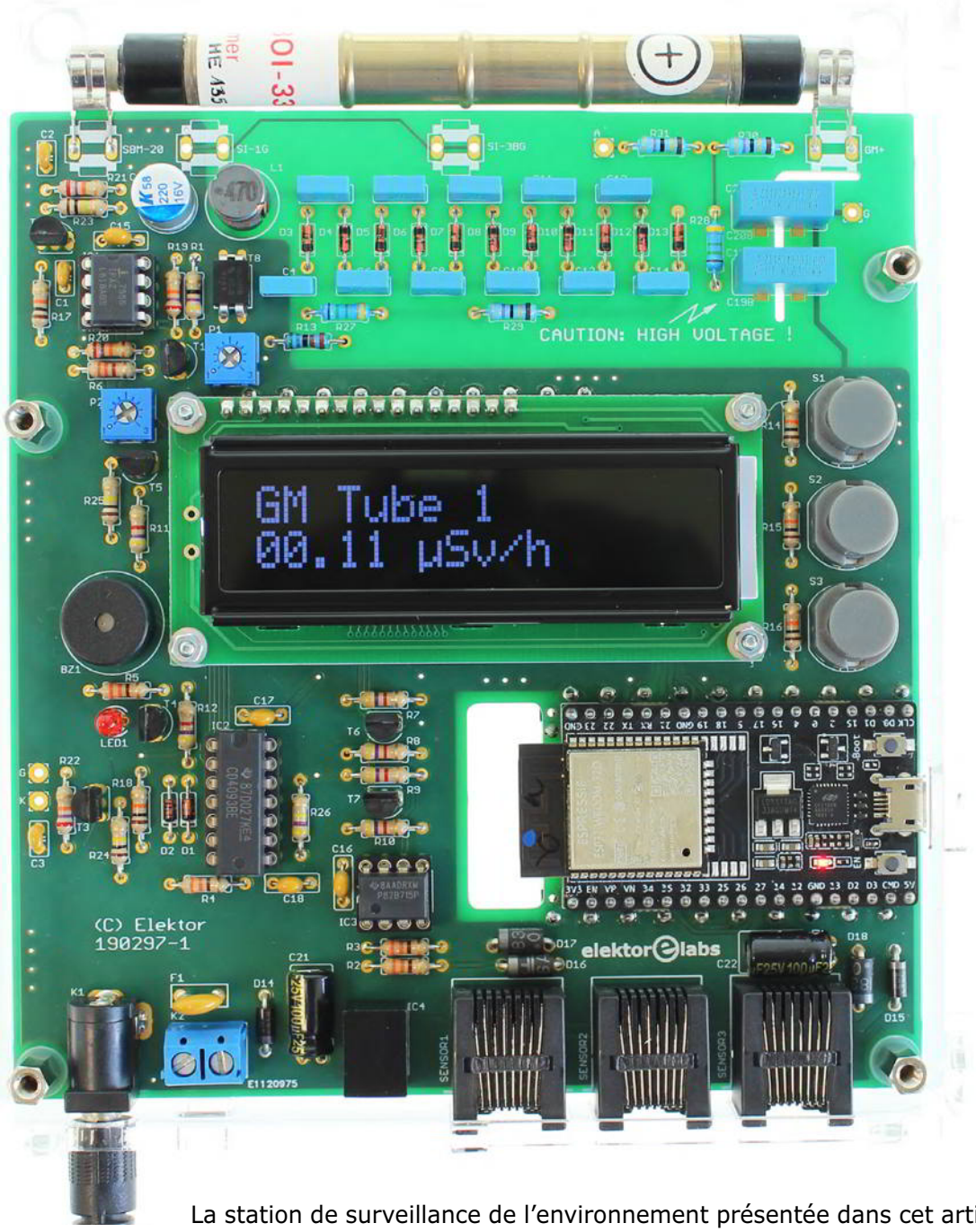
Si d'ici là votre PoC fonctionne comme prévu, nous en ferons un schéma. Ça a l'air facile, ça… Eh bien, détrompez-vous.

190369-02 VF

station de surveillance de rayonnement ionisant

Publier les données de 2 tubes Geiger sur les plates-formes IdO

Ilse Joostens (Belgique)



La station de surveillance de l'environnement présentée dans cet article mesure le niveau de rayonnement ionisant de fond et publie des données sur des plates-formes IdO comme *openSenseMap* et *ThingSpeak*. Elle est extensible.

INFOS SUR LE PROJET

rayonnement | haute tension | tube Geiger-Muller | internet des objets | ESP32

débutant
➡ connaisseur
expert

± 4 heures

fer à souder, IDE Arduino, alim de labo

±70 €

Caractéristiques

- Tension d'alimentation 9 à 20 V_{CC}
- Basé sur ESP32 avec Wi-Fi
- Jusqu'à deux tubes Geiger-Muller
- Tension de tube réglable (jusqu'à 1,1 kV)
- Mesure le rayonnement gamma (et bêta)
- Affichage des données sur l'afficheur LCD local et sur la plate-forme IoT distante
- Hautement configurable
- Alarme de niveau de rayonnement élevé avec seuil réglable
- Trois connecteurs d'extension I²C tamponnés

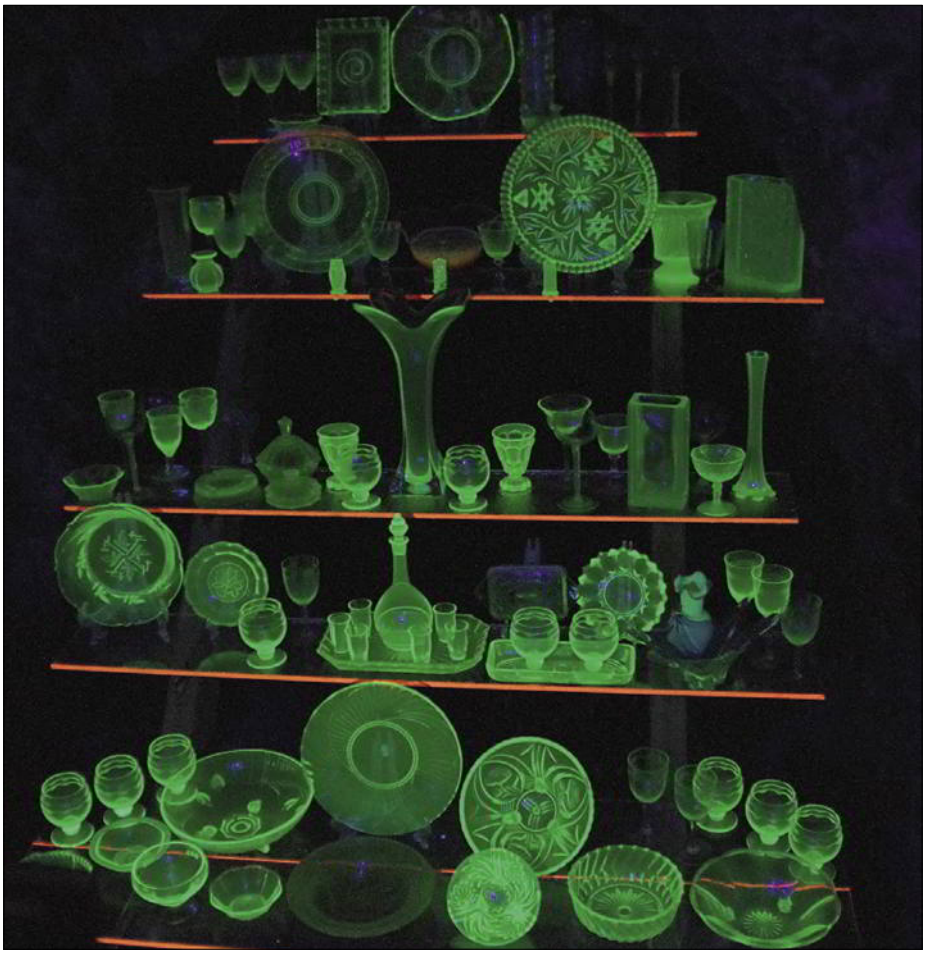


Figure 1. Le verre d'uranium est une source radioactive intéressante pour vérifier la station de surveillance environnementale. Les perles de ce verre, toujours produites en République tchèque, sont bon marché et inoffensives, car les sels d'uranium sont pris dans le verre.

Rayonnement de fond

Issu de sources naturelles ou artificielles, le rayonnement de fond peut être considéré comme le niveau de rayonnement ionisant permanent à un endroit donné. Par rayonnement ionisant, on entend toute forme de rayonnement capable de détacher les électrons des atomes ou des molécules. Ce n'est pas la même chose que la radioactivité, mais la désintégration radioactive s'accompagne généralement d'un rayonnement ionisant [1]. Pratiquement tous les matériaux présents dans la nature ont un tel rayonnement en raison de la présence de radionucléides naturels. Ceux qui nous concernent sont principalement l'uranium 238/235, le thorium 232, le potassium 40 et le rubidium 87. Dans l'air, on trouve principalement du radon 222, ses nucléides descendants, et des radionucléides cosmogéniques [2]. Enfin, les articles artificiels radioactifs comme les matériaux de construction, les biens de consommation et les articles ménagers (**fig. 1**) contribuent également au rayonnement de fond (domestique) [3].

Mesure du rayonnement ionisant

Lors de la surveillance du rayonnement de fond, les rayonnements alpha et bêta sont habituellement moins préoccupants, car leur portée dans l'air est très limitée. Pour obtenir de bons résultats, il faut un tube G-M avec une sensibi-

Figure 2. Deux exemples courants de tubes Geiger-Muller à chambre métallique.

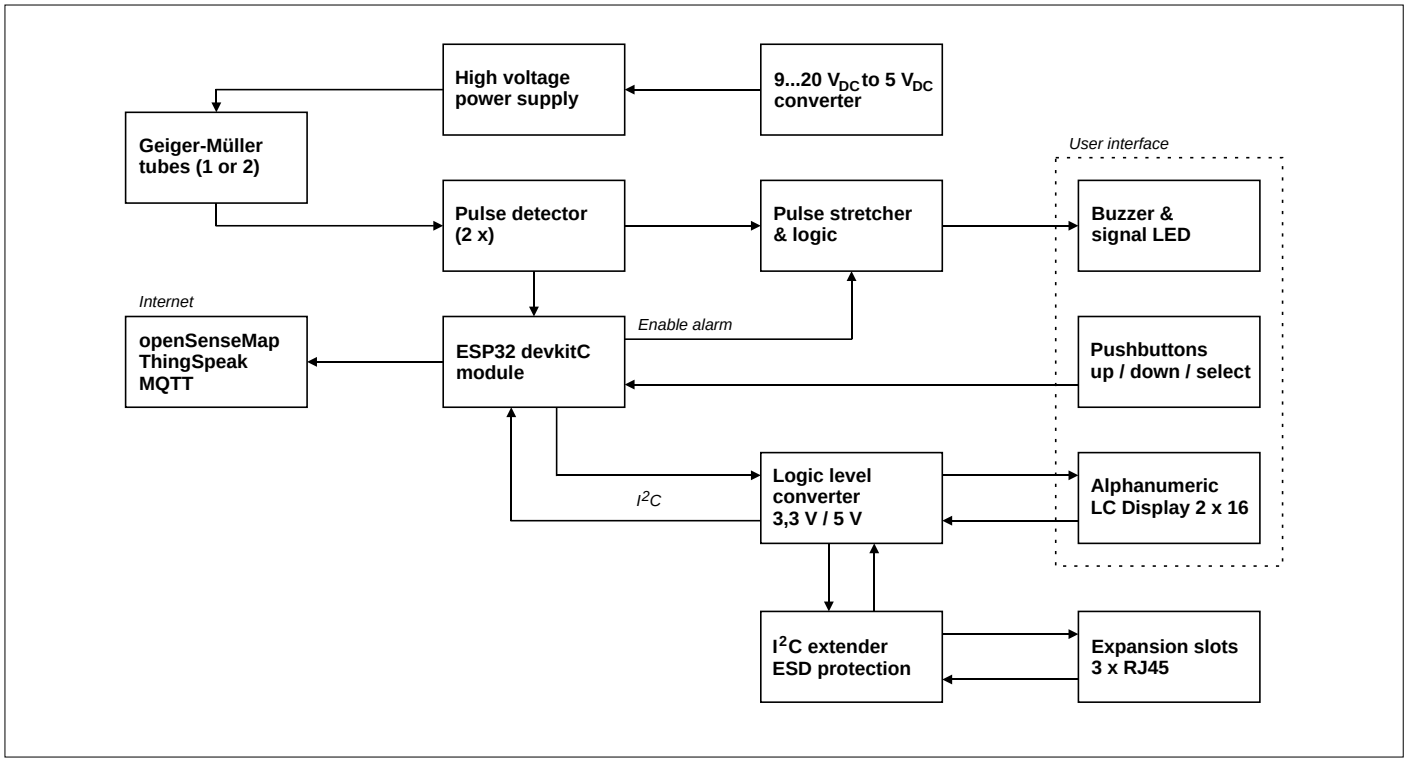


Figure 3. Le synoptique de cette station de surveillance environnementale montre que ce n'est pas juste un compteur Geiger-Muller comme les autres.

lité gamma élevée. Pour un système d'entrée de gamme, le tube SBM-20 russe est un bon choix. Soyez prudent lorsque vous commandez un tel tube, car de nombreux modèles compatibles sont vendus sous l'étiquette SBM-20. Le LND712 est une autre option abordable, mais du fait de sa faible sensibilité aux rayons gamma du césium 137, ce n'est pas le meilleur choix pour détecter le rayonnement consécutif à une catastrophe comme Tchernobyl. Nous avons également essayé les tubes LND7121217 et LND78017. La sensibilité du premier est comparable à celle du SBM-20. Le second est beaucoup plus sensible.

Geiger & Muller et leur tube

Le physicien allemand Geiger inventa en 1908 le principe à partir duquel Muller, un autre physicien allemand, fabriquera en 1928 un tube utilisable.

Généralement, les tubes G-M ont la forme d'un cylindre métallique servant de cathode et sont dotés d'une anode centrale (**fig. 2**). Certains tubes ont une fenêtre en mica pour la détection des particules alpha et du rayonnement bêta trop faibles pour traverser la paroi métallique du tube. Il existe aussi des tubes en verre au lieu de métal et les tubes *pancake* plats (comme une crêpe) [4].

Le tube est rempli d'un mélange *Penning* composé d'un gaz de remplissage inerte comme le néon ou l'argon et d'un gaz de trempe, généralement du chlore ou du brome. La pression du mélange gazeux est égale à quelques dixièmes de la pression atmosphérique. Une haute tension de l'ordre de 300 V à 1200 V est appliquée entre anode et cathode.

Une particule alpha ou bêta entrant dans le tube ionisera le gaz. La même chose se produit indirectement par effet photoélectrique lorsqu'un photon gamma frappe le tube et frappe un électron de la paroi interne du tube dans le gaz de remplissage.

Townsend et son avalanche

Lorsque le gaz de remplissage est ionisé, des paires d'ions chargés positivement et des électrons libres sont créés. Le champ électrique dans le tube accélère les ions positifs vers la cathode et les électrons négatifs vers l'anode. Si les électrons libres gagnent assez d'élan, ils ioniseront d'autres molécules de gaz sur leur trajectoire, créant des électrons libres supplémentaires qui à leur tour ioniseront encore plus de molécules de gaz, et ainsi de suite. Le résultat de cette avalanche dite *de Townsend* est une impulsion électrique facilement détectable.

Les avalanches finissent par s'arrêter lorsque l'intensité du champ électrique diminue en raison de l'accumulation d'ions positifs autour de l'anode.

Le gaz de trempe agit contre les avalanches prolongées et évite les décharges secondaires intempestives en empêchant l'émission de photons UV lorsque les ions positifs atteignent la cathode. Lorsque l'avalanche s'arrête, le tube est temporairement réfractaire à un nouvel événement ionisant, on parle de *temps mort*.

Tubes G-M : avantages et inconvénients

Les tubes G-M sont relativement bon marché ; capables de détecter tous les types de rayonnement, ils sont durables et portables. Par rapport aux détecteurs à scintillation et à semi-conducteurs, l'impulsion de sortie est toujours la même quel que soit le niveau d'énergie ou le type de rayonnement détecté. Le rendement des tubes G-M (ε) est très faible. Ils ne détectent qu'une petite fraction du rayonnement ionisant qui les frappe. Ils ne sont généralement pas assez sensibles pour détecter de manière fiable, par exemple, la contamination radioactive des produits alimentaires.

Tube G-M : comment l'utiliser dans un circuit

Maintenant que nous avons une idée du fonctionnement des tubes G-M, nous pouvons concevoir un circuit d'application. Au fond, ce dont nous avons besoin se limite à une alimentation haute tension (HV) pour polariser le tube G-M et un amplificateur pour rendre audibles et visibles les impulsions de sortie.

À cause de fonctions accessoires, le synoptique (**fig. 3**) est un peu plus compliqué que ce qui vient d'être décrit. Le circuit de base est formé par l'alimentation HT, le tube G-M, un détecteur d'im-

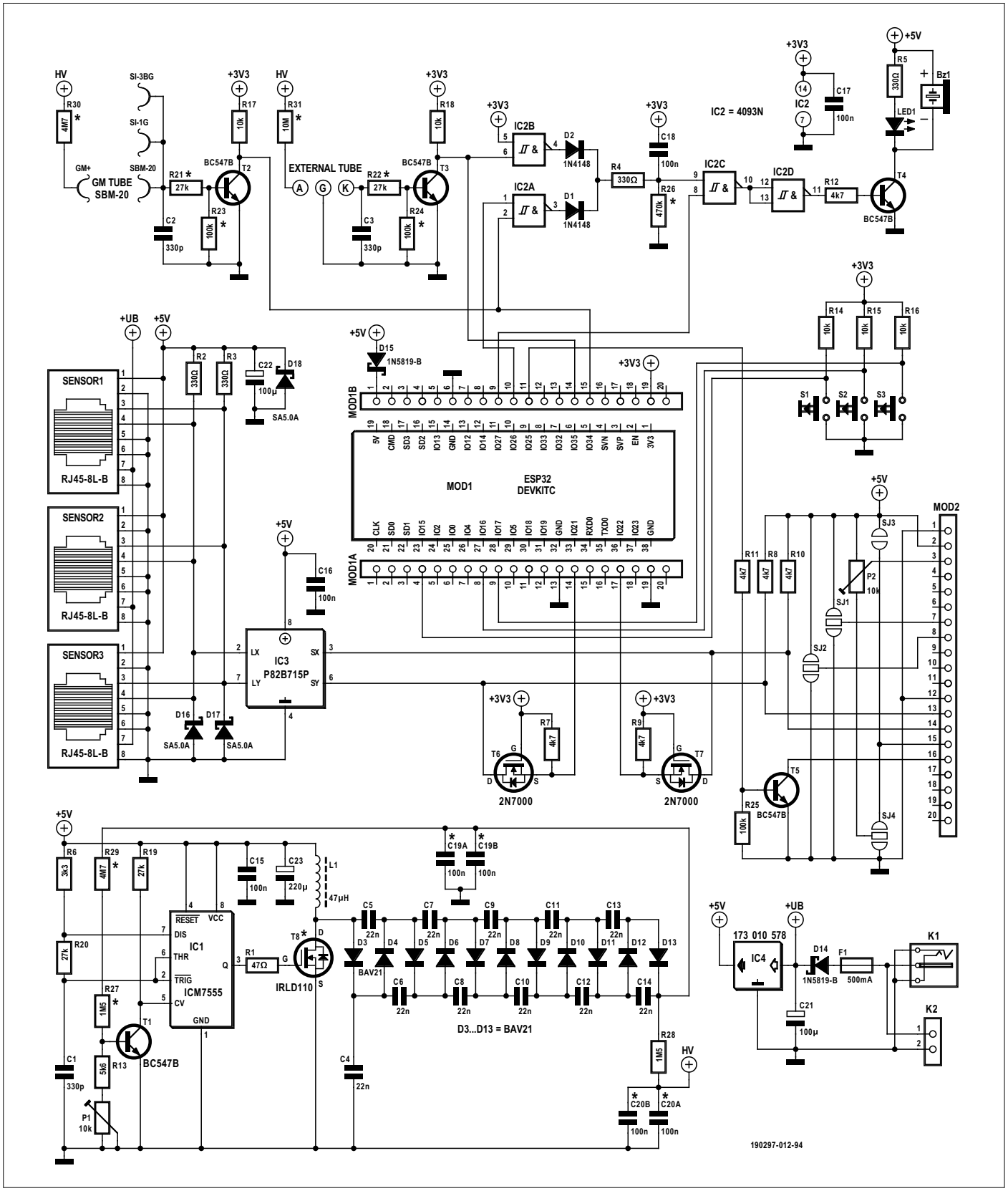


Figure 4. L'élévateur de tension avec son échelle de diodes à 11 étages est l'attraction principale de ce circuit. Le module ESP32, moins spectaculaire, n'en est pas moins digne d'intérêt.

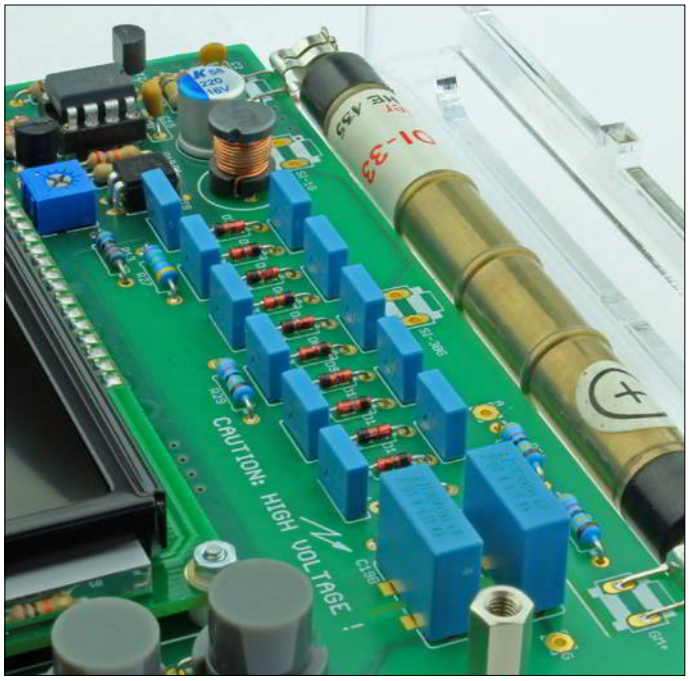


Figure 5. Un tube Geiger-Muller ne fonctionne que sous haute tension.

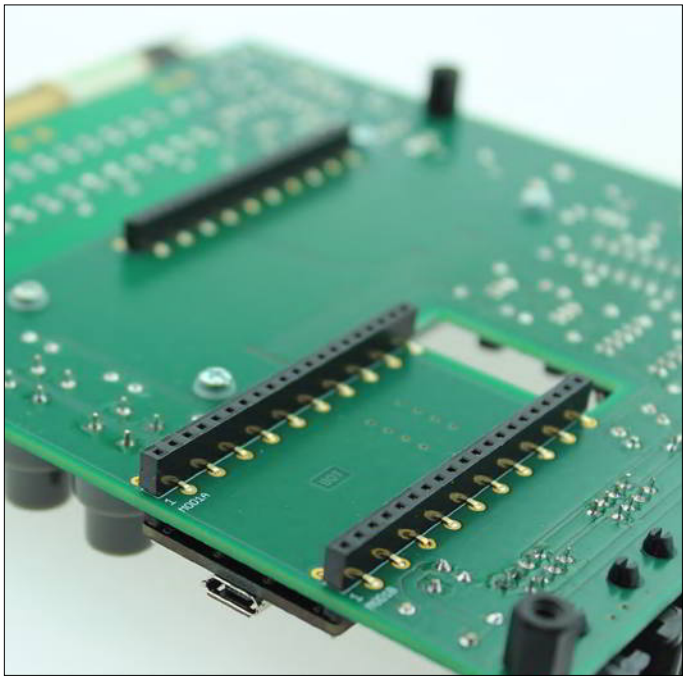


Figure 6. Le profil surbaissé du support permet de réduire l'encombrement.

pulsions suivi d'un allongeur, un transducteur sonore et une LED. Ce circuit capable d'écouter deux tubes G-M au lieu d'un seul pour les comparer est donc doté de deux détecteurs d'impulsions. Nous y avons ajouté un microcontrôleur (µC) pour le traitement des données. Les valeurs mesurées sont données par le µC sur un afficheur à cristaux liquides et envoyées sur l'internet par une connexion sans fil. Trois extensions I²C tamponnées sont prévues pour d'autres capteurs ou d'autres appareils. Le schéma de la **figure** 4 est facile à analyser.

Indispensable alimentation haute tension

L'alimentation haute tension (HT) est construite autour d'un temporisateur 7555. Il s'agit d'un convertisseur élévateur suivi d'une cascade HT qui multiplie la tension de sortie par six (**fig. 5**). Pour obtenir une tension aussi propre que possible, la sortie du multiplicateur passe par le filtre R28/C20 (A ou B). Comme T8 (un MOSFET de type IRLD110) peut commuter des tensions jusqu'à 100 V, la tension de sortie maximale théorique est de 600 V. En pratique, la tension de sortie peut être réglée de 280 V à 550 V, ce qui permettra l'utilisation de nombreux types de tubes G-M. Si T8 est un IRFD220 et que C19B ainsi que C20B remplacent C19A et C20A, une tension de tube encore plus élevée est possible. Dans ce cas, la valeur de chacune des résistances de retour R27 et R29 doit être portée à 5,6 MΩ environ.

Le circuit HT, alimenté depuis la tension stabilisée de 5 V, est donc indépendant de la tension d'entrée de 9 à 20 VCC du circuit. Sous une tension de sortie de 550 V, les résistances R27 et R29 dissipent quelque 50 mW et chauffent donc un peu. Pour améliorer encore la stabilité de l'alimentation HT, on choisira pour ces deux composants un modèle à faible coefficient thermique.

Crucial détecteur d'impulsions

Les circuits de détection d'impulsions, du côté secondaire du tube G-M, se composent d'un transistor NPN, d'un condensateur et de quelques résistances. Les résistances anodiques R30 et R31 et les composants des circuits de détection doivent être choisis en fonction du tube G-M utilisé. En règle générale, la somme des valeurs des résistances connectées à la base du transistor doit être approximativement 1/45ᵉ (0,022) de la valeur de la résistance de l'anode.

Les collecteurs des transistors sont connectés au µC et au rail 3,3 V par une résistance de polarisation de 10 kΩ.

Nécessaire allongeur d'impulsions

Comme les impulsions de quelques µs sur les collecteurs sont trop courtes pour être visibles et audibles, elles sont étirées par le circuit R4, R26, C18 et IC2C. Quand la fréquence des impulsions est élevée, ce circuit rallongeur est redéclenché en continu avant la fin de l'impulsion en cours. Il en résulte un signal sonore continu. Jouez sur la valeur des composants du rallongeur d'impulsions pour atténuer cet effet si vous le souhaitez.

L'étirement des impulsions aurait pu être effectué par le logiciel, mais à des fréquences d'impulsions élevées, à raison de plusieurs centaines par seconde ou plus, cela mobiliserait une puissance de traitement que nous préférerions réserver à des tâches plus importantes.

µC + LCD avec interface I²C

Ses aptitudes Wi-Fi entrent pour une large part dans la popularité de l'ESP32. Nous avons choisi le module devkitC ESP32 auquel nous avons ajouté trois poussoirs (*Up*, *Down* et *Select*) et un afficheur alphanumérique de 2 × 16 signes (avec interface I²C, ce qui est assez rare). Comme il fonctionne sous 5 V, les convertisseurs de niveau T6 et T7 sont nécessaires. Les modules LCD standard avec à l'arrière un petit convertisseur I²C-parallèle sont plus courants, mais trop encombrants ici.

Le module ESP32 est doté de deux connecteurs à 19 broches et l'afficheur LCD n'a que 16 broches, mais nous avons

opté pour des connecteurs à 20 broches, faciles à trouver. Les broches inutiles ne sont pas connectées.

Connecteurs d'extension

Trois prises RJ45 permettent de connecter des capteurs externes à l'aide de câbles Ethernet standard. Y sont connectés la tension d'alimentation d'entrée, le rail 5 V et un bus I²C tamponné par un prolongateur de bus P82B715 (IC3). Les diodes TVS protègent le rail 5 V et les signaux I²C contre les surtensions.

Logiciels

Nous n'avons pas ménagé nos efforts de sorte que le progiciel dispose de nombreuses commandes (voir **encadré**, documenté dans le fichier *cmd_proc.ino*). Ces commandes peuvent être envoyées par Wi-Fi à la station de surveillance, ou à travers le port série (via le connecteur USB du module ESP32). Le débit du port série est réglé à 115 200 bits/s. Avec le moniteur série de l'EDI Arduino, désactivez l'option '*Pas de fin de ligne*'. Envoyez les commandes Wi-Fi au port 5010 à l'adresse IP de la station. Vous pouvez utiliser PuTTY ou une application de terminal TCP sur votre téléphone tactile.
Le logiciel a été écrit dans l'EDI Arduino 1.8.9 avec le noyau Arduino pour l'ESP32 installé.

Comptage d'impulsions

Les impulsions des tubes G-M sont comptées pendant un intervalle réglable, puis converties en une valeur moyenne de *compte par minute* (CPM) pour cet intervalle. Un débit de dose en *microsieverts* par heure (µSv/h) est calculé à partir de cette valeur puis publié sur une plate-forme IdO. La valeur sur l'afficheur local est mise à jour toutes les 15 secondes. Comme il prend en compte le nombre d'impulsions détectées au cours de la dernière minute, sa réactivité convient pour expérimenter avec une source radioactive. Les valeurs affichées sur l'afficheur LCD peuvent différer quelque peu des valeurs envoyées sur l'internet en raison de différences de filtrage.

De l'impulsion au microsievert par heure

Tout d'abord, corrigeons le taux de comptage R (exprimé en CPM) pour le temps mort du tube :

$$R_{corrigé} = R_{observé} / (1 - (R_{observé} \times t_{mort}))$$
[compte/min.]

Notez que le temps mort d'un tube est généralement spécifié en microsecondes (µs) et dans la formule ci-dessus, doit être converti en minutes lorsque le taux de comptage R est en impulsions comptées par minute. Pour le SBM-20, dont le temps mort est de 190 µs, son effet est insignifiant pour les valeurs de CPM inférieures à 3000 CPM (c'est-à-dire moins de 1 % d'erreur).

Facteur de conversion

La deuxième (et dernière) étape du calcul est facile si vous connaissez le *facteur de conversion* de votre tube G-M. Malheureusement, pour déterminer ce facteur, il faut une source radioactive dont l'activité est connue avec précision. De telles sources sont non seulement très coûteuses, mais elles doivent généralement être autorisées par une autorité de réglementation nucléaire.

Vous pouvez trouver sur l'internet les données de moniteurs de rayonnement officiels dans votre voisinage et ajuster le facteur de conversion de votre système pour obtenir des mesures alignées sur ces valeurs officielles. Pour le tube SBM-20 utilisé dans notre prototype, nous avons obtenu de bons résultats avec un facteur de conversion de 0,003931.
Lorsque le facteur de conversion *k* est connu, le débit de dose D est :

$$D = k \times R_{corrigé} \text{ [µSv/h]}$$

Configuration de la station de mesure atomsphérique

Commandes de configuration des tubes G-M.			
gm N			**G-M tube, N=1...2**
	set		Réglages
		attached|att YN	Le tube est connecté y/n
		accperiod|ap N	Période d'accumulation (min)
		deadtime|dt N	Temps mort (µs)
		cnvfactor|cf N	Facteur de conversion
		threshold|th N	Seuil d'alarme (nanoSv/h)

Commandes de configuration du transducteur et de la LED.			
buzzer			**Transducteur & LED**
	alarm|al YN		Activer / désactiver l'alarme sonore
	set		Réglages
		enabled|ena YN	Activer / désactiver le transducteur

Si vous voulez publier les mesures sur une plate-forme IoT, vous pouvez choisir *openSenseMap* et/ou *ThingSpeak* (compte obligatoire). Pour *ThingSpeak*, vous aurez besoin d'une clé API d'écriture et d'un nom de champ pour chaque tube G-M. Pour *openSenseMap*, vous aurez besoin d'un identifiant *SenseBox* et d'un identifiant *Sensor*.

thingspeak|thsp				ThingSpeak client
	set			**Réglages**
		gm N		tube G-M, N=1..2
			writekey|wk "..."	Écriture de la clé API
			fieldname|fn "..."	Nom du champ
opensensemap|osmap				**OpenSenseMap client**
	set			**Réglages**
		gm N		tube G-M, N=1..2
			senseboxid|sbid "..."	Identifiant SenseBox
			sensorid|sid "..."	Identifiant Capteur

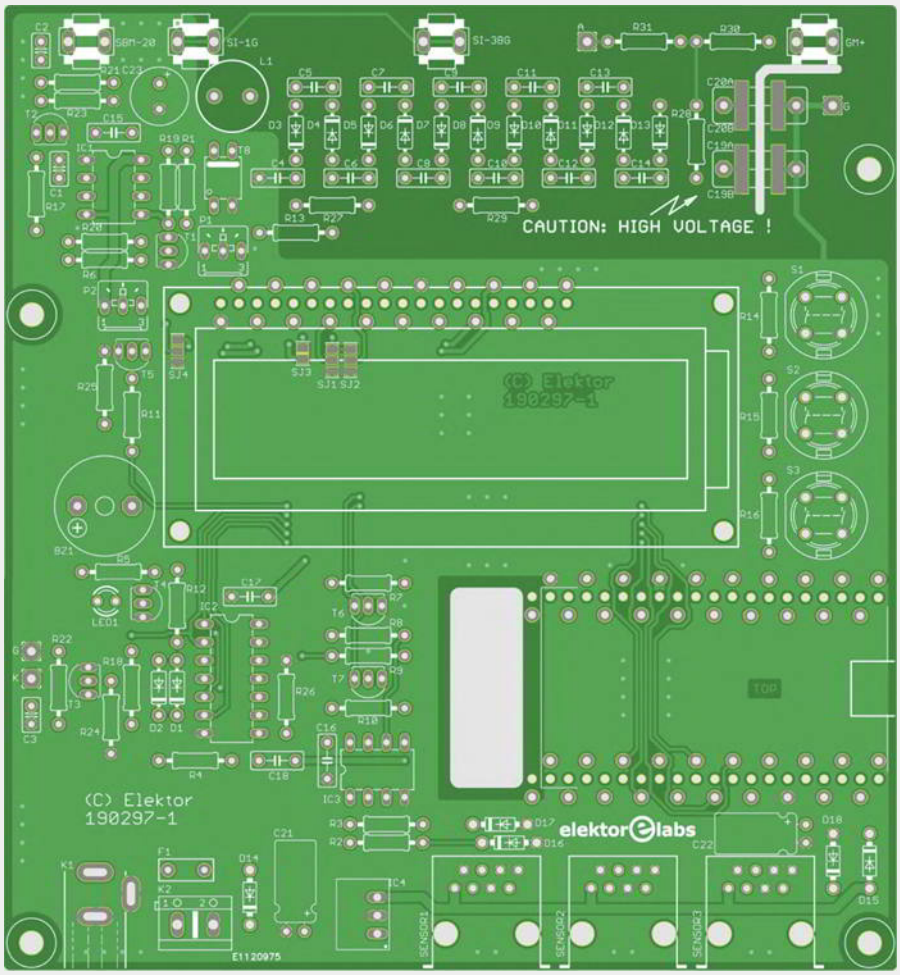
LISTE DES COMPOSANTS

Résistances
R1 = 47 Ω
R2-R5 = 330 Ω
R6 = 3,3 kΩ
R7-R12 = 4,7 kΩ
R13 = 5,6 kΩ 1 %
R14-R18 = 10 kΩ
R19-R22 = 27 kΩ
R23,R24,25 = 100 kΩ
R26 = 470 kΩ*
R27,R28 = 1,5 MΩ 1,6 kV
(par ex. Vishay HVR2500001504JA100)*.
R29,R30 = 4,7 MΩ 1,6 kV
(par ex. Vishay VR2500000004704704FA500)*.
R31 = 10 MΩ 1,6 kV
(par ex. Vishay VR2500000001005FA500)*
P1,P2 = aj. 10 kΩ (par ex. Vishay T73YU103KT20)

Condensateurs
C1,C2,C3 = 330 pF NP0/COG
C4-C14 = 22 nF à film 250 V
(ex. Epcos B32529C3223J000)
C15-C18 = 100 nF X7R
C19A,C20A = 100 nF à film 630 V
(par ex. Epcos B32671P6104K000)*.
C19B,C20B = 100 nF X7R 1,5 kV
(ex. Kemet C2225C104KFRACTU)*.
C21,C22 = 100 µF 25 V
C23 = 220 µF 16 V, faible ESR

Inductances
L1 = 47 µH radial
(par ex. Würth Elektronik 744 772 047 0)

Semi-conducteurs
D1,D2 = 1N4148
D3-D13 = BAV21
D14,D15 = 1N5819-B
D16,D17,D18 = SA5.0A
LED1 = LED 3 mm rouge
T1-T5 = BC547B



T6,T7 = 2N7000
T8 = IRLD110PBF*
IC1 = ICM755555
IC2 = CD4093N
IC3 = P82B715P
IC4 = régulateur abaisseur $V_{entrée}$ 8 à 28 V, V_{sortie} 5 V, 1 A, Würth Elektronik 173 010 578

Divers
BZ1 = transducteur sonore
(par ex. Loudity LD-BZEG-1205/3)
F1 = polyfusible 500 mA
(par ex. petit fusible 60R050XPR)
K1 = socle DC 2,1/5,5 mm
(par ex. Ninigi PC-GK2.1)
K2 = bornier à vis encartable à 2 voies, pas 5 mm

Assemblage de la station de surveillance

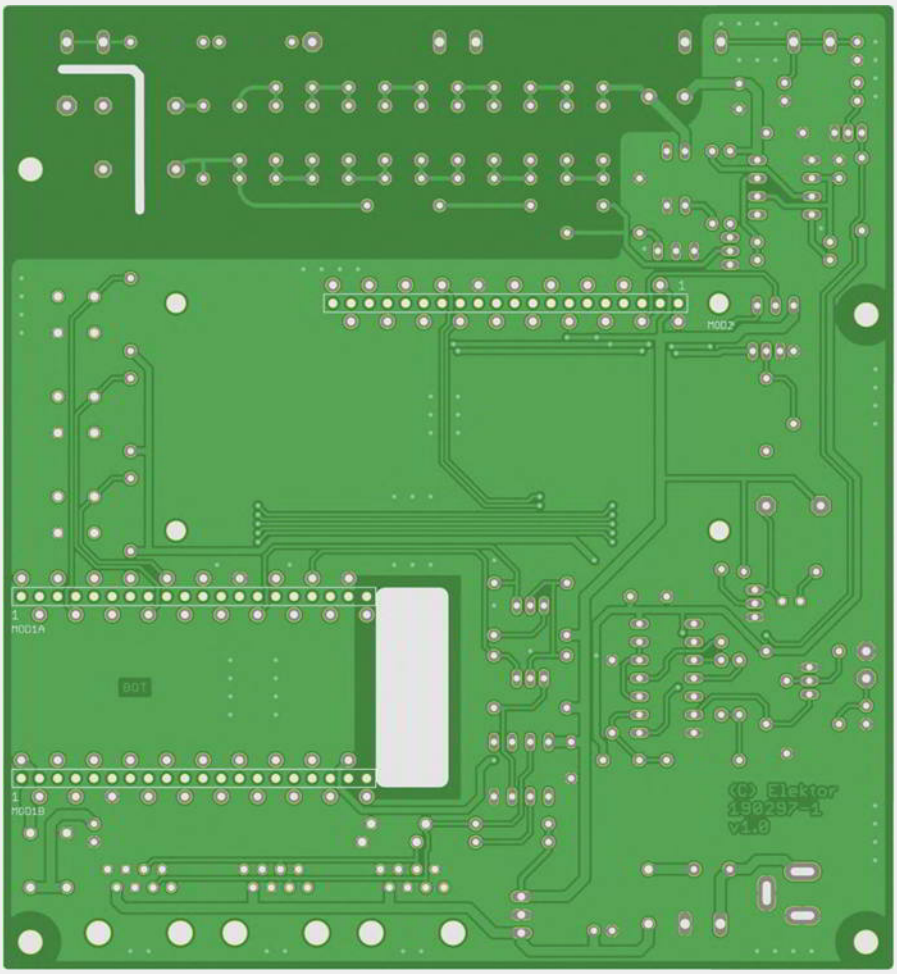
Commencez par les plus petits composants comme les diodes BAV21 (D3-D13). Montez tout sauf l'afficheur et le module ESP32. Implantez IC1 mais pas encore IC2 ni IC3.
Implantez soit C19A & C20A soit C19B & C20B, mais jamais tous les quatre ensemble.
Attention, les diodes de suppression de transitoires D16 et D17 sont à l'étroit. Coudez les fils de D17 avec soin et assurez-vous que D16 ne gêne pas la prise RJ45 *SENSOR1*.
Pour réduire la hauteur totale de la carte assemblée, l'afficheur LCD et le module ESP32 sont montés côté soudure de la carte sur des supports surbaissés (MOD1A, MOD1B & MOD2) (**fig. 6).** Vous pouvez couper un peu les broches du connecteur MOD2 pour qu'elles ne touchent rien sur la face inférieure du module LCD.

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ **Environmental Monitoring System, circuit imprimé**
www.elektor.fr/190297-1

→ **Environmental Monitoring System, kit**
www.elektor.fr/190297-71

→ **Environmental Monitoring System, coffret prépercé**
www.elektor.fr/190297-72



MOD1A, MOD1B, MOD2 = support à 20 broches, pas 2,54 mm, entrée par en-dessous
(par ex. Würth Elektronik 613 020 157 21)
S1, S2, S3 = poussoir
(par ex. C&K D6R10LFS)
SENSOR1-SENSOR3 = socle RJ45
(par ex. Molex 85503-5001)

afficheur alphanumérique LCD 2x16, I²C, Raystar Optronics RC1602B5-LLH-JWV
devkitC ESP32 avec connecteur
porte-fusible 2× 5 mm à pince pour tube G-M

(*) cf. l'article

Réglez l'adresse I²C de l'écran LCD avec un point de soudure sur les pastilles 1 et 2 des cavaliers SJ1 et SJ2.
Si votre afficheur LCD (comme celui de la nomenclature de ce projet) délivre une tension de contraste négative (V_{EE}) sur sa broche 15, laissez ouvert le cavalier SJ3 mais court-circuitez 1 & 2 sur SJ4.

Tests

Réglez le curseur de P1 à mi-course et branchez une alimentation de 9 à 20 V_{CC} sur K1 ou K2. Assurez-vous d'utiliser une alimentation appropriée, car le courant consommé atteint environ 500 mA (lorsqu'il est alimenté à partir de 9 V_{CC}) au démarrage. Vérifiez la tension de 5 V. Mesurez la tension sur C19 et tournez P1 pour obtenir une valeur adaptée à votre tube G-M (400 V pour un SBM-20). Soyez très prudent en faisant cela ; la haute tension ne vous tuera pas, mais l'expérience est assez… choquante !
Si les tensions d'alimentation sont correctes, coupez l'alimentation et implantez IC2, IC3, l'afficheur LCD et le module ESP32. Vous pouvez maintenant également raccorder le tube G-M (vérifiez la polarité).
Remettez le circuit sous tension et connectez-le avec un câble USB à un ordinateur sur lequel l'EDI Arduino est installé (nous avons utilisé la version 1.8.9). Compilez le croquis et téléchargez le code dans le module ESP32. Vous pouvez également télécharger les fichiers binaires directement sur l'ESP32.
Le potentiomètre de contraste P2 permet d'améliorer la lisibilité du module LCD.
Utilisez les poussoirs *Up* et *Down* pour sélectionner un tube (pour l'instant tube G-M 1 ou tube G-M 2), appuyez sur *Select* pour afficher alternativement les valeurs µSv/h et CPM. Vous pouvez également activer ou désactiver le transducteur sonore et la LED, initialiser une alarme de rayonnement, afficher la date et l'heure fournies par un serveur NTP et sélectionner un fuseau horaire. Vous pouvez enfin connecter votre station de surveillance à une plate-forme IoT et devriez maintenant pouvoir vous y connecter par le port série.

Deux tubes

Deux tubes G-M peuvent être montés ensemble s'ils peuvent fonctionner sous la même tension. Si vous connectez un tube par un câble, prenez un câble à double blindage aussi court que possible et connectez la résistance d'anode directement au tube G-M. Attention à la haute tension sur le câble, ça mord ces bestioles ! Une précaution supplémentaire consiste à mettre deux résistances en série avec le câble, une sur le circuit imprimé et l'autre connectée au tube G-M. ⏮

190297-0 VF

Liens

[1] Atomsphère, atomsphère, est-ce que j'ai une gueule d'atomsphère ? bionerd 23 @ EHSM - v4 : www.youtube.com/watch?v=6Z5mRpFdT5I
[2] Gerbes atmosphériques: www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/Showers.html
[3] Articles ménagers radioactifs : www.youtube.com/watch?v=XTIvoTiTTSU
[4] Tubes Geiger-Muller (G-M) : www.orau.org/ptp/collection/GMs/GMs.htm

multitâche en pratique avec l'ESP32

programmation de tâches avec FreeRTOS et l'EDI Arduino

Warren Gay (Canada)

Avec un microcontrôleur comme plaque tournante d'un projet, les développeurs sont souvent confrontés à la nécessité d'exécuter plusieurs tâches à la fois : balayage des valeurs des capteurs, commande des actionneurs, affichage des états du dispositif et/ou attente d'une action de l'utilisateur. Heureusement, on peut résoudre ce problème de façon élégante avec la programmation de tâches basée sur des systèmes d'exploitation embarqués légers. FreeRTOS est un système d'exploitation à code source ouvert, largement diffusé et disponible pour de nombreuses plateformes à microcontrôleur. Le tandem très répandu ESP32 et EDI Arduino facilite particulièrement l'utilisation de FreeRTOS pour la programmation de tâches, car il est déjà intégré dans les bibliothèques de base. En fait, vous avez peut-être toujours utilisé FreeRTOS sans le savoir !

La plateforme ESP32 d'Espressif est un microcontrôleur passionnant pour les projets des *makers*. Avec ses capacités matérielles, son logiciel riche et son prix abordable, beaucoup le placent dans la catégorie « indispensable ».
Espressif fournit à la fois des environnements en modes natif et compatible Arduino. Le mode natif se nomme officiellement ESP-IDF (*Espressif IoT Development Framework*). Pour cet article, nous utiliserons l'environnement familier d'Arduino. La plupart des API (*Application Programming Interface*) sont disponibles pour les deux [1]. Certains de nos lecteurs savent peut-être qu'Espressif utilise le fameux système d'exploitation embarqué FreeRTOS pour implémenter les fonctions de bibliothèques de l'ESP32 pour le Wi-Fi, le Bluetooth et bien d'autres options du microcontrôleur. Dans cet article, nous verrons que FreeRTOS [2] et la programmation de tâches sont aussi employés pour les fonctions élémentaires `setup()` et `loop()` d'Arduino.

Nous allons tout d'abord décrire un simple projet de démonstration de l'ESP32 [3]. Puis nous jetterons un coup d'œil sous le capot ; nous réaliserons ensuite nos propres tâches pour la démonstration.

Application

Pour cet épisode de la série, nous développerons une application qui lit le convertisseur analogique-numérique (CA/N) à partir d'un potentiomètre et affiche la valeur sous forme de graphique à barres sur un écran OLED. De plus, en utilisant la modulation par largeur d'impulsion (MLI), nous ferons varier la luminosité d'une LED.
Cet article repose sur la carte Lolin ESP32 avec écran OLED intégré (**fig. 1**) [4]. Si vous avez une autre carte à ESP32 sans écran OLED compatible SSD1306, vous pouvez désactiver l'affichage OLED dans le programme et vous fier à la luminosité de la LED.

La LED et le potentiomètre seront câblés selon le schéma de la **figure 2**.
Pendant l'exécution de l'application, tourner le potentiomètre fait varier la tension d'entrée vue sur la broche GPIO36. Cette tension sera mesurée par une valeur sur 12 bits, soit un nombre de 0 à 4095. Tourner le potentiomètre (ou « potar ») à fond dans le sens horaire renverra une valeur de 4095 qui provoquera la pleine luminosité de la LED. Si l'inverse se produit, inversez les connexions externes du potar. La connexion centrale est le curseur du potar dont la tension va varier du potentiel de la masse jusqu'à 3,3 V. Faites attention à ne pas connecter le potar à l'alimentation de 5 V, car c'est supérieur à la tension maximale admissible par la broche GPIO.

Configuration du programme

Passons maintenant au logiciel. Le programme définit des macros en C pour vous faciliter sa reconfiguration. Elles figurent dans le **listage 1**. Mettez la macro `CFG_OLED` à zéro si vous n'utilisez pas d'écran (ceci permet d'ignorer les adresses et macros I2C). On a choisi la valeur de la macro `CFG_ADC_GPIO` pour utiliser ADC1 sur le canal 0 (GPIO36). Enfin, la LED a été configurée par `CFG_LED_GPIO` pour utiliser GPIO13.
Le code complet est disponible sur GitHub dans le sous-répertoire *freertos-tasks1* [3].

Initialisation

Ignorons les tâches pour le moment, le **listage 2** montre la fonction `setup()` de notre dispositif. Il s'agit d'une initialisation typique dans le cadre d'une d'application Arduino.
L'écran n'est initialisé que lorsqu'il est compilé (configuré). Après cela, le CA/N est configuré pour lire des valeurs sur 12 bits avec la fonction Arduino `analogReadResolution()`. On appelle la fonction `analogSetAttenuation()` pour lire une valeur entre 0

Listage 1. Options de configuration.

```
// Mettre à zéro si vous n'utilisez pas d'écran SSD1306
#define CFG_OLED 1

// adresse I2C de l'écran SSD1306
#define CFG_OLED_ADDRESS 0x3C

// port GPIO de la ligne SDA I2C de l'écran
#define CFG_OLED_SDA 5

// port GPIO de la ligne SCL I2C de l'écran
#define CFG_OLED_SCL 4

// largeur de l'écran en pixels
#define CFG_OLED_WIDTH 128

// hauteur de l'écran en pixels
#define CFG_OLED_HEIGHT 64

// port GPIO pour l'entrée CA/N
#define CFG_ADC_GPIO 36

// port GPIO pour la LED à MLI
#define CFG_LED_GPIO 13
```

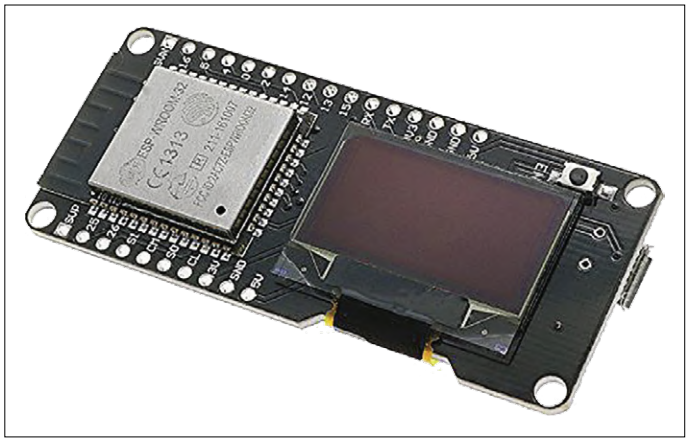


Figure 1. Lolin ESP32 avec écran OLED.

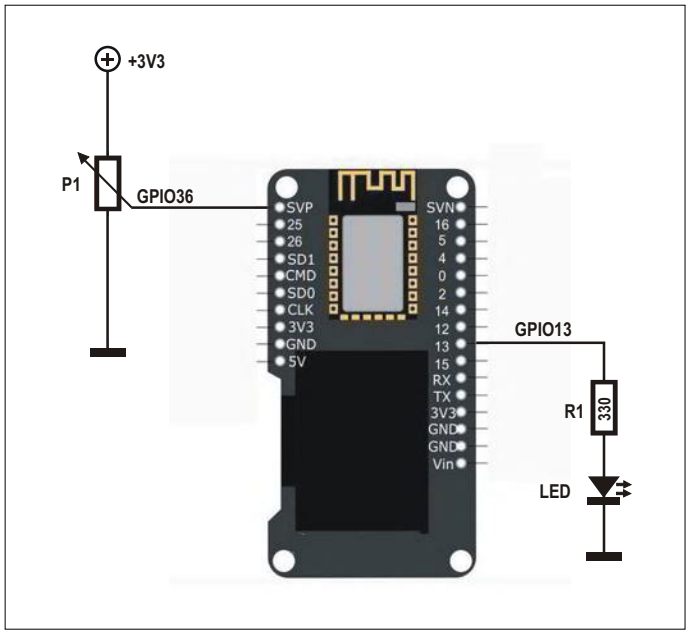


Figure 2. Module Lolin ESP32 équipé avec OLED et LED.

Listage 2. La fonction setup().

```
void setup() {

#if CFG_OLED
  display.init();
  display.clear();
  display.setColor(WHITE);
  display.display();
#endif

  analogReadResolution(12);
  analogSetAttenuation(ADC_11db);

  pinMode(gpio_led,OUTPUT);
  ledcAttachPin(gpio_led,0);
  ledcSetup(0,5000,8);
}
```

Listage 3. La fonction graphique à barres.

```
#include "SSD1306.h"
...
void barGraph(unsigned v) {
  char buf[20];
  unsigned width, w;

  snprintf(buf,sizeof buf,"ADC %u",v);
  width = disp_width-2;
  w = v * width / 4095;
  display.fillRect(1,38,w,disp_height-2);
  display.setColor(BLACK);
  display.
fillRect(w,38,disp_width-2,disp_height-2);
  display.fillRect(1,1,disp_width-2,37);
  display.setColor(WHITE);
  display.drawLine(0,38,disp_width-2,38);
  display.
drawRect(0,0,disp_width-1,disp_height-1);
  display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_CENTER);
  display.setFont(ArialMT_Plain_24);
  display.drawString(64,5,buf);
  display.display();
}
```

et 3,3 V. Le CA/N comporte un amplificateur interne, il est donc important de le configurer pour utiliser la plage correcte. Ensuite, la broche GPIO pour la LED est configurée en sortie et en mode MLI par des appels à `ledcAttachPin()` et `ledcSetup()`.

Affichage graphique à barres

Avec l'écran OLED SSD1306, l'application va dessiner un graphique à barres et y afficher la valeur du CA/N (voir le **listage 3**).
La fonction `barGraph()` reçoit une valeur d'entrée `v` qui est la valeur du CA/N, et la formate en un message court dans le tableau `buf` avec `snprintf()`. Certains rectangles sont dessinés en noir et d'autres en blanc pour représenter le graphique en barres. L'appel à la méthode `display.drawString()` place aussi le texte formaté sur l'écran. Enfin, l'appel à la méthode `display.display()` recopie l'image mémoire de l'écran dans le contrôleur OLED du dispositif.

Listage 4. Code d'une boucle Arduino typique.

```
void loop() {
  uint adc = analogRead(ADC_CH);

#if CFG_OLED
  barGraph(adc);
#endif

  printf("ADC %u\n",adc);
  ledcWrite(0,adc*255/4095);
  delay(50);
}
```

Tableau 1. Au démarrage de l'Arduino.

nom de la tâche	n° de la tâche	priorité	pile	UC
loopTask	12	1	5188	1
Tmr Svc	8	1	1468	0
IDLE1	7	0	592	1
IDLE0	6	0	396	0
ipc1	3	24	480	1
ipc0	2	24	604	0
esp_timer	1	22	4180	0

La fonction *loop()*

Si nous écrivions un programme Arduino normal, nous coderions une boucle comme celle du **listage 4**.
Dans ce code, les étapes sont simples :

- Lire la valeur sur 12 bits du CA/N (récupération d'une valeur de 0 à 4095).
- L'afficher sur le graphique à barres (s'il est configuré).
- Imprimer « ADC » et la valeur sur le moniteur série.
- Ajuster la luminosité de la LED en changeant le paramètre de MLI.
- Et attendre 50 tops d'horloge.

C'est un programme volontairement simple. Mais si cette application était compliquée, il faudrait que vous la décomposiez en « tâches » plus petites.

Quelles sont les tâches ?

Avec une unité centrale (UC) ESP32 à double cœur, deux programmes peuvent s'exécuter *simultanément*. C'est formidable avec un microcontrôleur ! Chaque UC fonctionne avec son propre compteur ordinal et autres registres pour exécuter les instructions. Cela représente deux *threads* de commande. Alors qu'une UC à simple cœur n'exécuterait qu'un seul *thread* de commande à un instant donné.
Pour permettre à plus de deux programmes de s'exécuter de façon *concomittante*, on utilise un artifice d'ordonnancement pour suspendre un programme et reprendre les autres. C'est le principal travail de FreeRTOS. Cet ordonnancement a lieu si rapidement qu'il donne l'impression qu'on exécute plusieurs programmes à la fois. Mais à tout moment, il n'y a pas plus de deux programmes qui tournent simultanément dans l'UC à double cœur. Pensez à ce terme de « programme » (utilisé à tort) comme une tâche.
Pour gérer l'exécution simultanée de plusieurs tâches, l'ordonnanceur de FreeRTOS sauvegarde les registres de la tâche courante et restaure ceux de la tâche suivante à exécuter. De cette façon, plusieurs tâches peuvent s'exécuter indépendamment. En plus du compteur ordinal pour chaque tâche, on doit sauvegarder et restaurer son pointeur de pile. C'est indispensable, car les programmes en C/C++ sauvegardent dans la pile des variables et des adresses de retour de fonctions. Chaque tâche doit avoir sa propre pile privée.
Dans l'ESP32, toutes les tâches s'exécutent dans le même espace mémoire (à la différence du Raspberry Pi par exemple). Pour cette raison, les tâches doivent être programmées avec soin pour ne pas corrompre la mémoire utilisée par d'autres tâches. D'autres

considérations s'appliquent pour le fonctionnement d'un noyau à multiples UC, mais gardons cette discussion pour une autre fois.

Tâches Arduino

Lorsque votre programme Arduino pour ESP32 démarre, est-il dans une tâche ? Absolument ! En plus de votre propre tâche au démarrage, il y a d'autres tâches de FreeRTOS qui s'exécutent. Certaines d'entre elles fournissent des services tels que des temporisations, TCP/IP, Bluetooth, etc. Des tâches supplémentaires peuvent être démarrées lorsque vous envoyez une requête de service à l'ESP32.

Le **tableau 1** montre un exemple de tâches FreeRTOS qui s'exécutent lorsque les fonctions Arduino `setup()` et `loop()` sont invoquées. La tâche nommée `loopTask` est votre tâche Arduino principale.

La colonne intitulée *Pile* représente le nombre d'octets de pile inutilisés de FreeRTOS. Nous verrons plus tard comment prévoir les tailles de pile.

Le tableau est trié dans l'ordre chronologique inverse, par numéro de tâche. Votre tâche principale (`loopTask`) est la dernière créée. Les numéros de tâches manquants suggèrent que certaines tâches ont été créées et arrêtées après avoir fini leur travail. La colonne *Priorité* indique les priorités affectées aux tâches, zéro étant la plus faible. Pour l'instant, sachez que les priorités fonctionnent dans FreeRTOS un peu différemment par rapport à Linux par exemple.

Enfin, les tâches sont réparties entre l'UC 0 et l'UC 1. Espressif met les tâches du système dans l'UC 0, tandis que les tâches applicatives utilisent l'UC 1. Ceci permet de ne pas perturber les services pour TCP/IP, Bluetooth, etc., sans que votre application prenne des précautions particulières. Malgré cette convention, il est toujours possible de créer des tâches supplémentaires dans l'une ou l'autre UC.

Démarrage d'un Arduino

Il est bon de savoir comment les programmes Arduino pour ESP32 s'initialisent avant l'appel à *setup()*. Prenez l'extrait de programme simplifié du **listage 5** (les éléments du temporisateur du chien de garde ont été omis).

Sur cet exemple, nous pouvons remarquer plusieurs choses intéressantes :

- Notez qu'il s'agit d'un démarrage en C++ (malgré la déclaration en « C » *extern* de `app_main()`).
- Certaines initialisations d'Arduino sont réalisées par `initArduino()`.
- La tâche `loop` est créée et exécutée par l'appel à `xTaskCreatePinnedToCore()`.

La tâche `loopTask` est créée par l'appel à `xTaskCreatePinnedToCore()` avec de nombreux arguments. Le premier argument est l'adresse de la fonction à exécuter pour la tâche (`loopTask()`). Lorsque la tâche est créée, la fonction `loopTask()` s'exécute alors, invoquant d'abord `setup()`, puis `loop()` depuis une boucle « for » sans fin.

Le second argument est une chaîne de caractères qui décrit le nom de la tâche avec le type `string` en C (« loopTask »). Le troisième argument, la taille de la pile, est spécifié à 8192 *octets*. Notez que cela diffère du FreeRTOS d'origine sur d'autres plateformes, où elle s'exprime en mots de 4 octets. Lorsque la tâche est créée, l'allocation est faite à partir du *tas* et affectée à la tâche avant l'appel à la fonction. C'est une bonne partie de la SRAM qui serait gaspillée si la tâche principale n'était pas utilisée. Toutes les tâches FreeRTOS acceptent un pointeur vide comme argument. Ici la valeur n'est pas utilisée et fournie comme *NULL*. Le cinquième argument est la priorité FreeRTOS à affecter à la tâche, qui est de 1 dans cet exemple. Cela demande plus de discussion, donc utilisez 1 jusqu'à ce que les priorités de FreeRTOS soient expliquées.

Après l'argument priorité vient un pointeur vers une variable qui recevra l'identificateur de la tâche. Il n'est pas utilisé ici et pourra être fourni comme *NULL*. Le dernier argument spécifie le cœur d'UC d'exécution. Cela peut être 0 ou 1 pour le double ESP32. L'UC 1 est utilisée pour démarrer la tâche principale. Pour les dispositifs à cœur unique, cela ne peut être que 0.

Listage 5. Démarrage simplifié d'un Arduino à ESP32.

```
void loopTask(void *pvParameters) {
  setup();
  for (;;) {
    loop();
  }
}

extern "C" void app_main() {
  initArduino();
  xTaskCreatePinnedToCore(
    loopTask,        // function to run
    "loopTask",      // Name of the task
    8192,            // Stack size (bytes!)
    NULL,            // No parameters
    1,               // Priority
    &loopTaskHandle, // Task Handle
    1);              // ARDUINO_RUNNING_CORE
}
```

Création d'une tâche

Supposons que notre application soit compliquée et que nous devions scinder le code en deux tâches. Nous avons déjà `loopTask`, qui appelle `loop()` sans cesse. Pour profiter de l'espace de pile qui lui est alloué, nous devrions normalement y coder la partie la plus consommatrice de pile du programme. Pour notre démonstration de tâche, faisons ce qui suit dans la fonction `loop()` :

- Lire la valeur sur 12 bits du CA/N.
- Imprimer la valeur sur le moniteur série.
- Envoyer la valeur du CA/N à la seconde tâche.
- Attendre 50 tops d'horloge et revenir (de `loop()`).

Ce qui reste à faire à la seconde tâche :

- Récupérer la valeur du CA/N depuis la fonction `loop()` (de la tâche `loopTask`).
- Afficher la valeur du CA/N sur le graphique à barres (s'il est configuré).
- Modifier la commande MLI pour la luminosité de la LED.

Le seul endroit pertinent pour créer la seconde tâche est dans la fonction `setup()` car cette création ne doit être faite qu'une fois. Ajoutons donc à notre fonction `setup()` :

```
void setup() {

#if CFG_OLED
  display.init();
  display.clear();
  display.setColor(WHITE);
  display.display();
#endif

  analogReadResolution(12);
  analogSetAttenuation(ADC_11db);

  pinMode (gpio_led,OUTPUT);
  ledcAttachPin(gpio_led,0);
  ledcSetup(0,5000,8);
...
  xTaskCreatePinnedToCore(
    dispTask,   // Display task
    "dispTask", // Task name
    2048,       // Stack size (bytes)
    NULL,       // No parameters
    1,          // Priority
    NULL,       // No handle returned
    1);         // CPU 1
}
```

Cet appel va démarrer une nouvelle tâche nommée `dispTask`, avec une pile de 2048 octets. Nous l'avons affectée à l'UC 1, avec une priorité de 1. Elle va exécuter la fonction `dispTask()` (qui reste à définir). Comme la tâche va s'exécuter sur là même UC et à la même priorité que notre `loopTask`, l'UC sera partagée avec `loopTask` et toutes les autres tâches de priorité 1 sur cette UC.

Files

Il manque encore un ingrédient – comment envoyer la valeur du CA/N d'une tâche à une autre ? Vous pourriez essayer de passer par la mémoire, ce qui pourrait fonctionner pour des tâches sur la même UC. Mais les choses se compliquent pour passer de l'information d'une UC à une autre. La file de FreeRTOS est la solution à notre problème.
La file permet à une tâche d'y « pousser » un élément de façon « atomique ». De la même façon, elle permet au récepteur de récupérer cet élément de façon atomique. Atomique signifie que l'élément ne peut pas être poussé ou récupéré partiellement. Avec une UC à double cœur qui exécute simultanément deux instructions, il y a des problèmes de synchronisation et d'accès concurrentiel. Le mécanisme de file a des dispositions spéciales pour que cela se produise au niveau atomique.
Pour créer une file FreeRTOS, examinons le listage ci-dessous :

```
static QueueHandle_t qh = 0;
...
  qh = xQueueCreate(8,sizeof(uint));
```

Le premier argument est la profondeur de la file (le nombre maximum d'entrées possibles dans la file). Le second argument spécifie la taille de chaque élément de la file. Ici c'est la taille d'une valeur `uint` en octets. La valeur retournée est l'identificateur de la file. Cette étape doit avoir lieu juste avant la création de `dispTask` dans `setup()`, de sorte qu'elle puisse immédiatement en disposer.
Intéressons-nous maintenant au remplissage de cette file :

```
void loop() {
  uint adc = analogRead(ADC_CH);

  printf("ADC %u\n",adc);
  xQueueSendToBack(qh,&adc,portMAX_DELAY);
  delay(50);
}
```

La mise à jour du graphique à barres et de la LED aura lieu dans notre nouvelle fonction `dispTask()`, qui reste encore à définir. Toutefois, la fonction `loopTask()` lit la valeur du CA/N dans `adc` puis l'imprime sur le moniteur série. Ensuite, la valeur est poussée au *fond* de la file avec la fonction `xQueueSendToBack()`. Nous avons fourni l'identificateur de la file en premier argument. La valeur à mettre en file est fournie par un pointeur comme second argument. Le dernier argument indique le temps d'attente en cas de file pleine. En spécifiant la macro `portMAX_DELAY`, nous indiquons que nous voulons bloquer l'exécution jusqu'à ce qu'il y ait de la place dans la file.

Tâche d'affichage

Examinons maintenant la tâche d'affichage dans le code qui suit :

```
void dispTask(void *arg) {
  uint adc;

  for (;;) {
    xQueueReceive(qh,&adc,portMAX_DELAY);
    barGraph(adc);
    ledcWrite(0,adc*255/4095);
  }
}
```

Cette fonction, comme toutes les fonctions de tâche, reçoit un argument de type pointeur lorsqu'elle démarre. Il n'est pas utilisé ici, et vaut *NULL* du fait de la façon dont la tâche a été créée.

Le corps principal de la tâche est une boucle `for` de réception depuis la file. Ici `xQueueReceive()` renvoie la valeur de la donnée en file, ou attend indéfiniment si la file est vide (la

Liens

[1] API de référence pour ESP32 : https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-reference/

[2] Page d'accueil FreeRTOS : http://www.freertos.org

[3] Code source du projet : https://github.com/ve3wwg/esp32_freertos/blob/master/freertos-tasks1/freertos-tasks1.ino

[4] Carte ESP32 Lolin avec OLED : www.elektor.com/lolin-esp32-oled-module-with-wifi

valeur du troisième argument est `portMAX_DELAY`). Une fois qu'une valeur est reçue depuis la file, l'affichage du graphique à barres est mis à jour et la valeur MLI de la LED est modifiée.
Remarquez qu'il n'y a pas besoin d'appeler `delay()` dans cette tâche d'affichage. La raison en est que la tâche va se bloquer en attente dans la fonction `xQueueReceive()` lorsque la file est vide. C'est la tâche émettrice qui fixe le rythme d'exécution.

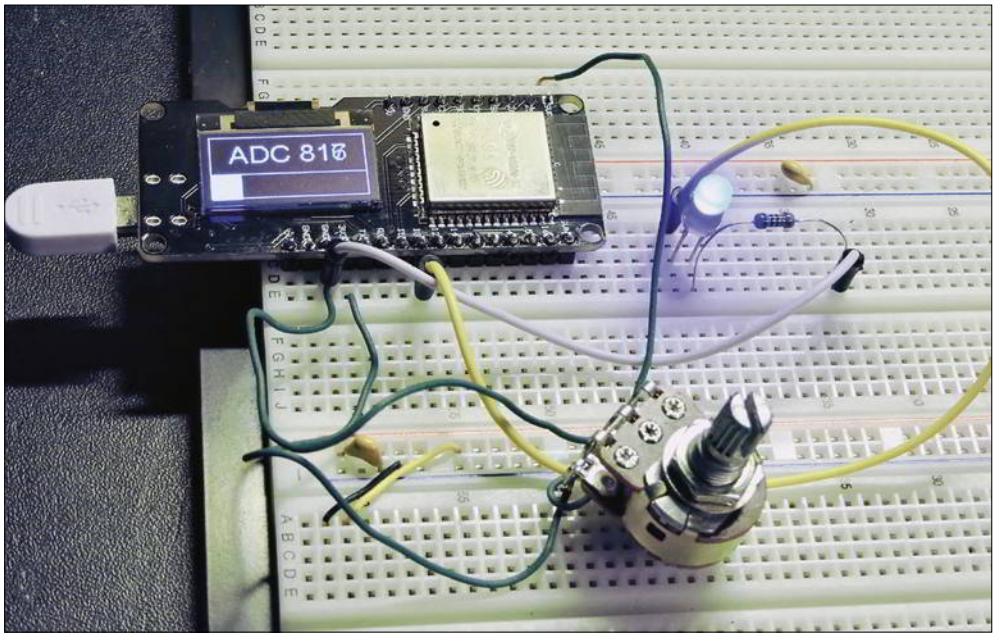


Figure 3. Exécution de la démo.

Exécution de la démo

Une fois câblé et programmé, vous devriez voir l'affichage du graphique à barres et la LED s'allumer (voir la **fig. 3**). Si la LED est éteinte, tourner le potar devrait l'allumer. Si vous avez compilé le programme sans l'écran, alors démarrez le moniteur série et cherchez des lignes de sortie de la forme « ADC 3420 » etc. Tourner le potar dans le sens horaire devrait augmenter la luminosité de la LED à MLI et la diminuer dans l'autre sens. Simultanément les valeurs du CA/N devraient augmenter avec une rotation dans le sens horaire et diminuer dans l'autre sens.

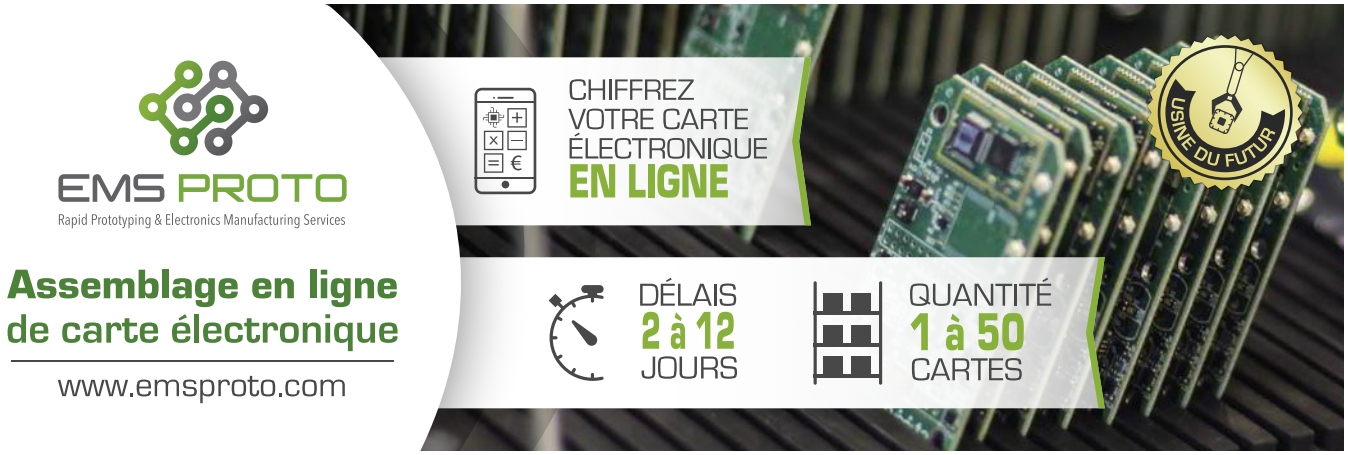
En résumé

Nous avons parcouru beaucoup de chemin dans cet article. Vous avez vu la procédure de démarrage de l'ESP32, depuis `app_main()`, jusqu'à `setup()` *et* `loop()`. La création de la tâche principale nommée `loopTask` a été couverte. Dans la démo, nous avons codé notre propre tâche supplémentaire dans le but de commander l'écran OLED et la LED à MLI, et de communiquer des données à une file. Ce code s'exécute bien indépendamment de la tâche principale.
De plus, nous nous sommes servis de la tâche principale en sachant qu'une bonne quantité d'espace de pile lui était attribuée (depuis le tas). Dans un prochain épisode, nous discuterons de la façon de déterminer l'utilisation de la pile pour les nouvelles tâches que vous allez créer.

Cet exemple était simpliste en termes de complexité. Mais reconnaissez que les tâches rendent les applications complexes plus simples en décomposant le problème. Imaginez comment un contrôleur MIDI pourrait être découpé en tâches d'émission, de réception et de commande. La tâche de réception est alors disponible pour recevoir des données sur la ligne série et les décoder sous forme d'événements à exécuter par la tâche de commande. Certains événements de commande peuvent à leur tour déclencher l'émission de données série par la tâche émettrice. C'est un élégant partage du travail. Non seulement cela fait de la maintenance du code un plaisir, mais cela améliore l'exactitude du programme. ⏮

(190182-03 – version française : Denis Lafourcade)

Publicité



mises au point & mises à jour

corrections – questions – réponses

Clemens Valens (Elektor Labs)

Mises à jour et compléments d'informations sur des articles publiés par Elektor, avec des tuyaux, des astuces, des conseils ingénieux et des réponses à des questions d'intérêt général posées par des lecteurs.

carte de commande à relais à 9 canaux
n°477 | nov./déc. 2019 | p. 70

La publication de ce projet polyvalent a suscité quelques questions dont la réponse est susceptible d'intéresser tout le monde.

Q : La liste de composants mentionne R3, R4 et R6 comme résistances de 0 Ω, mais sur le schéma leur valeur est respectivement de 1 kΩ, 1 kΩ et 10 Ω. Couac ?

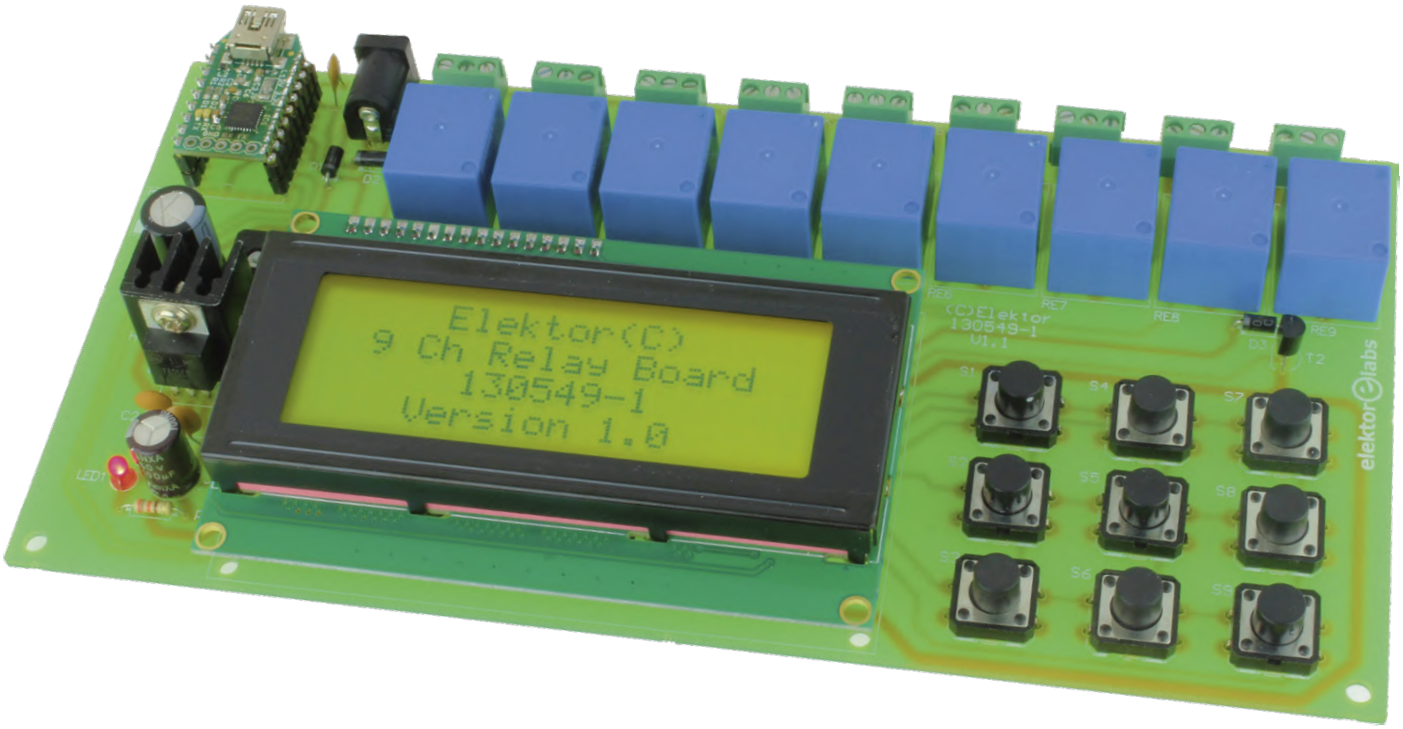
R : Les deux ! Ces résistances limitent le courant dans les ports du µC auxquels elles sont reliées si jamais un utilisateur imprudent y connecte quelque chose sans avoir d'abord mis le circuit hors tension. Leur valeur exacte est accessoire à condition d'être raisonnable. Dans les configurations où le module USB-série est toujours présent, elles peuvent être remplacées par un fou de bile… un bout de fil, pardon.

Q : En programmant le µC PIC, j'ai eu l'erreur «*At address 300006 Expected Value 81 Received Value 85*«. Que je change de µC ou que je le programme sur une carte d'essai, le résultat est le même. J'utilise un clone de PICkit 3 et le logiciel MPLAB IPE. Ça fonctionne bien pour d'autres projets. Curieusement, en dépit du message d'erreur final, la carte semble bien fonctionner. Couac ?

R : Le programmateur ne parvient pas à effacer le bit 2 à l'adresse 300006 du µC. Rien à voir avec la carte de commutation à relais à 9 canaux. C'est le bit LVP du registre CONFIG4L du PIC qui est incriminé. Sur l'internet on trouve sur ce problème des témoignages convergents. Parmi les solutions proposées **:** programmation sous tension élevé, effacement total, changer de programmateur.

Q : Lorsque la carte est déconnectée de l'alimentation 12 V, mais connectée à un port USB alimenté, la LED1 clignote faiblement. Un oscilloscope montre une forme d'onde à peu près triangulaire sur la ligne d'alimentation de 5 V, qui passe de 1,4 V à 1,9 V à environ 8,5 Hz. Avec un convertisseur USB-série séparé ou en court-circuitant le module USB-série le résultat est le même. D'après D2 tout va bien. J'ai vérifié tout le reste, je ne trouve pas d'erreurs. Que se passe-t-il ?

R : Le convertisseur USB-série n'est pas censé alimenter le circuit, il ne saurait produire la puissance requise par les relais. C'est le rôle de D2. Normalement c'est IC1 qui alimente le module USB-série, et non l'inverse. Ce que vous observez est probablement un courant de fuite à travers les lignes RXD/TXD du module USB vers les ports série du µC. Ceux-ci ont des diodes de protection internes connectés à la broche d'alimentation du µC. Cette broche charge maintenant C4 ; dès que la tension est suffisamment élevée, la LED1 s'allume, puis C4 se décharge un peu, la LED1 brille moins fort et C4 se recharge,



et ainsi de suite. C'est l'oscillation que vous contactez. Tout va bien tant que la valeur de R3 et R4 est de l'ordre de 1 kΩ, qui limitera ce courant de fuite à une intensité inoffensive.
www.elektor-labs.com/1778

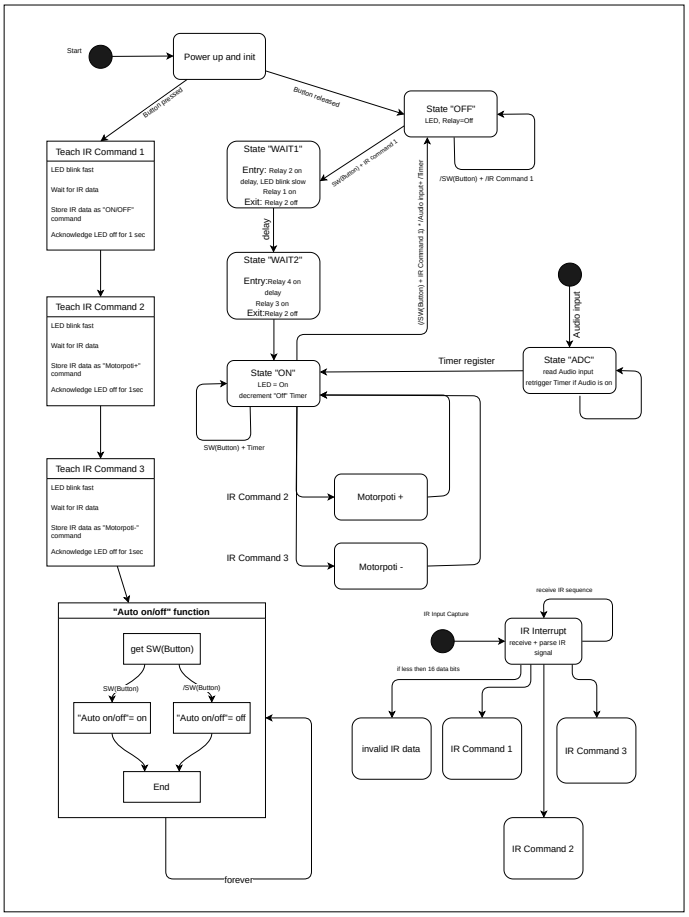
IP statique pour le serveur de temps ESP32
nº478 | juillet-août 2019 | p. 74

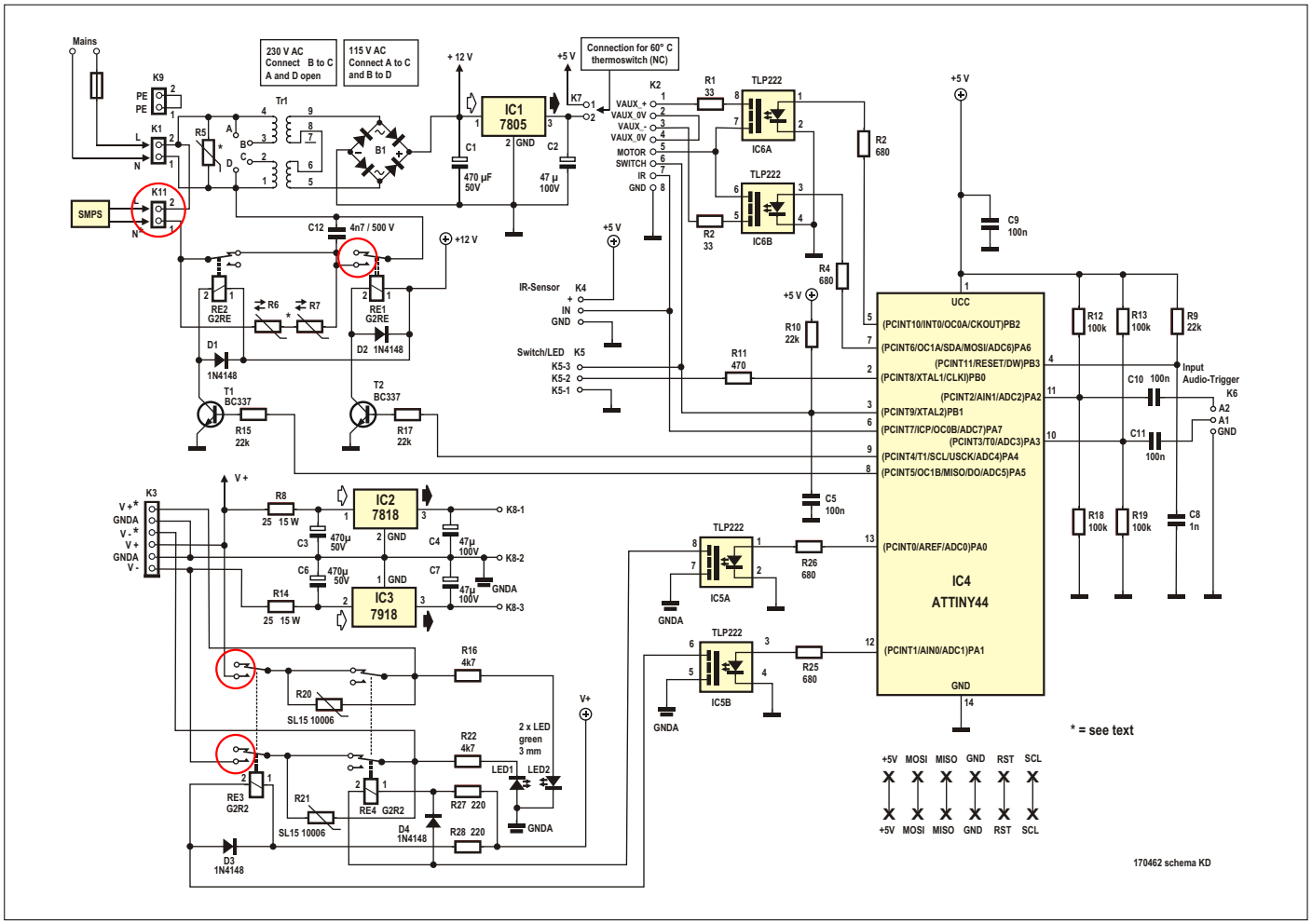
Le petit serveur NTP (*Network Time Protocol*) de temps (réel ou personnalisé) sur réseau privé utilise DHCP pour obtenir une adresse IP. C'est souvent pratique, sauf en l'absence de serveur DHCP sur le réseau. Pour cette raison et d'autres, nous avons ajouté la possibilité de définir une adresse IP statique pour le serveur NTP. C'est simple : il suffit de cocher '*Use static IPv4*' (utiliser IPv4 statique) dans les paramètres IPv4 et de remplir l'adresse IP souhaitée avec le masque de sous-réseau.

démarrage en douceur pour amplificateur
nº480 | nov./déc. 2019 | p. 6

Deux erreurs relevées après publication. Dans le schéma (**fig. 4**), les contacts ouvert et fermé au repos (NO) et (NC) de RE1 et RE3 ont été intervertis. Idem pour les étiquettes de K11. L'étiquette K11 est le contact marche-arrêt pour l'alimentation à découpage ou le transfo. La broche 1 devrait s'appeler 'N*' et la broche 2 'L'.
La version finale de la fig. 6 ci-contre remplace celle de l'article.
www.elektor-labs.com/1343

190379 VF





améliorer soi-même les phares de son auto?

Légal ou illégal ? Ce n'est pas égal !

Thomas Scherer (Allemagne)

Bien des automobilistes, dont le véhicule n'est pas encore équipé par le constructeur de lampes au xénon ou à LED, souhaiteraient un meilleur éclairage. Si vous êtes du nombre, vous serez tenté par des lampes halogènes, plus jaunes et moins lumineuses et qui, dans certains cas, ne durent pas longtemps.
Y a-t-il moyen de faire mieux ?
Et en toute légalité ?

Parmi les automobilistes dont les véhicules ne sont pas (encore) équipés de lampes au xénon ou à LED, il en est qui souhaiteraient un meilleur éclairage. Faut-il se contenter de lampes halogènes, plus jaunes et moins lumineuses et qui, dans certains cas, ne durent pas longtemps ? N'y aurait-il pas un moyen de faire des améliorations sans enfreindre la règlementation ?

À la fin du XIXe siècle, les premières voitures avaient quatre roues, un moteur, une direction et des freins. Quel que fût le modèle, son éclairage ne différait pas de celui de la compétition hippomobile : toutes les lampes étaient à bougies ou marchaient au carbure. C'est vers 1911 que l'éclairage automobile devient électrique sur une Cadillac. Dès 1913, Bosch perfectionne la production mobile d'énergie au moyen d'une batterie avec un générateur équipé d'un contrôleur (**fig. 1**). Aussitôt les contemporains qui arrivent en face déplorent l'éblouissement causé par cet éclairage plus puissant – ce n'est donc pas d'aujourd'hui que datent les réticences à tout changement de lumière, généralement critiqué comme innovation contestable !

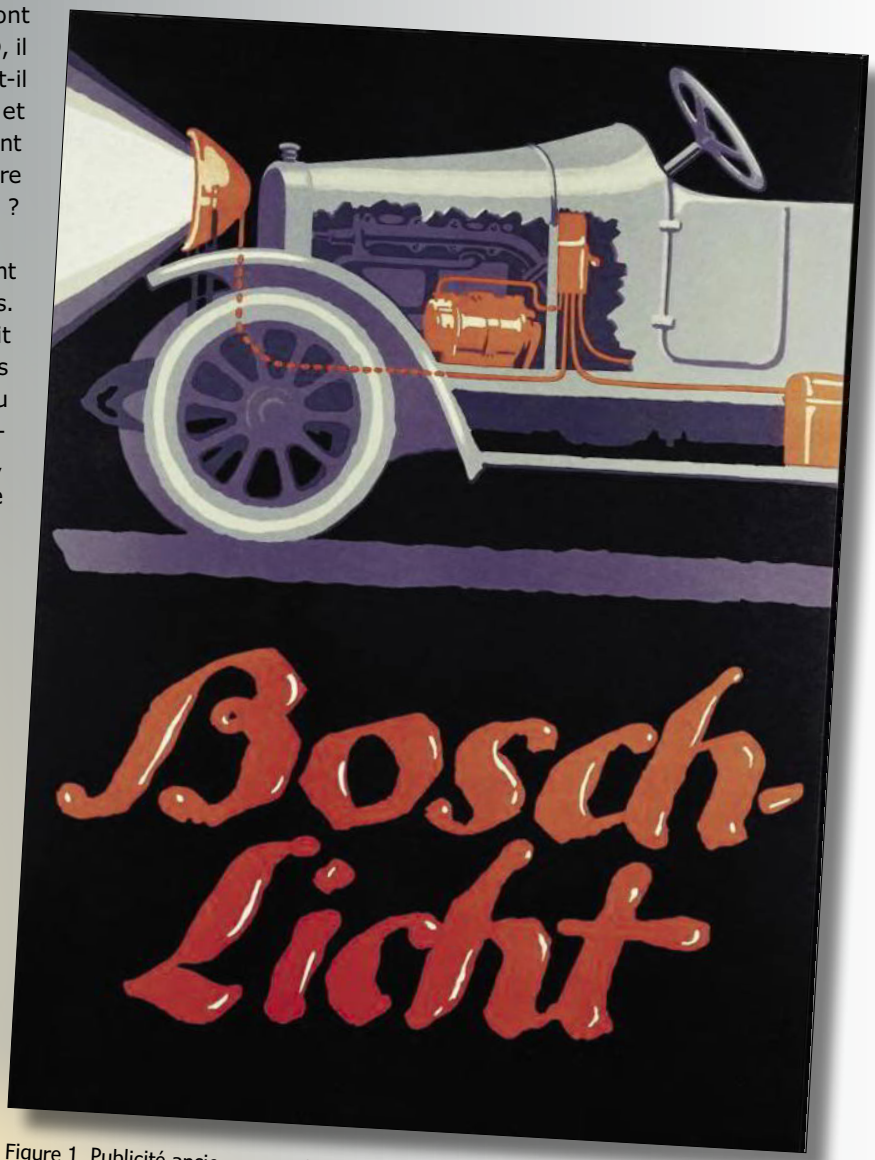


Figure 1. Publicité ancienne pour la lumière électrique dans les voitures (source : Bosch).

Les Cadillac furent donc équipées d'un réducteur d'intensité dès 1917. Cette atténuation ne tarda pas à faire des adeptes en Europe et fut règlementée en Allemagne vers 1921. Désormais les voitures étaient bien visibles, mais les conducteurs eux-mêmes n'y voyaient plus rien la nuit, et les accidents nocturnes se sont multipliés. On a donc imaginé des projecteurs séparés pour les feux de route et de croisement, et des systèmes optiques plus complexes. Avec l'invention, vers 1924, de la lampe à deux filaments, deux intensités de lumière devenaient possibles avec un seul projecteur, une technologie perfectionnée ensuite par *Bosch* avec les lampes *Bilux* en 1925.

La situation est restée inchangée pendant des décennies, même si après la Seconde Guerre mondiale on est passé de 6 V à 12 V, réduisant ainsi de moitié l'intensité des courants. Il faut attendre la fin des années 1960 avec les ampoules halogènes pour noter un amélioration vraiment sensible de la luminosité. Ce n'est qu'en 1971 qu'une voiture de série, la MB 350SL sortira équipée de série de l'ampoule halogène H4 à deux filaments. Quittons la préhistoire. Désormais les voitures modernes ont

Figure 2. Kit d'adaptation au xénon (source : TXVSO).

toutes au moins des lampes halogènes. Pour l'éclairage au xénon ou même à LED sur des modèles d'entrée et de milieu de gamme, il faut être prêt à des sacrifices financiers à quatre chiffres.

Y voir plus clair

En réaction à la flambée du xénon, dans les années 1990, sur les berlines de luxe, il y a eu deux tendances : les uns ne pensaient plus que « il me faut ça moi aussi » tandis que les autres, habitués à une lumière halogène plus chaude se sentaient éblouis par ce nouveau luxe agressivement lumineux. Le fait est que le xénon est plus lumineux et plus froid. Quand les meilleures lampes halogènes de 55 W atteignent un maximum de 1.500 lm, des lampes au xénon de seulement 35 W vous en mettent plein la vue avec 3,200 lm. À quoi s'ajoute une température de couleur de 4.200 K contre environ 3.000 K pour l'halogène. Une différence qui ne passe pas inaperçue,

Figure 3. Lampe à LED avec radiateur ventilé (source : Banggood).

et quiconque a conduit une voiture équipée d'un éclairage au xénon a remarqué la visibilité sensiblement améliorée en feux de croisement.
Jusqu'en 2008, dans l'UE, les LEDs, techniquement supérieures et moins chères que les lampes au xénon, n'étaient cependant homologuées que pour les feux arrière. Puis il y a eu les premières voitures avec de vrais phares à LED. Leurs caractéristiques et leur fiabilité leur permettent de concurrencer avantageusement les lampes au xénon. L'industrie automobile qui a pris le pli du surcoût pour un meilleur éclairage, n'entend pas se priver de cette manne quand elle peut proposer le choix entre phares halogènes ou à LED. Cette différence de prix et la relative nouveauté des LED contribuent au fait que les voitures à lampes halogènes restent majoritaires sur les routes, même si le changement engagé se poursuit lentement. D'où l'idée de chercher une solution par d'autres voies que la voie officielle.

Règles du jeu

Pourquoi ne pas remplacer les vieillottes ampoules halogènes des classes H1...H19 par des ampoules au xénon ou à LED compatibles mécaniquement ? Même pas besoin de souder ! Les fournisseurs extrême-orientaux, toujours pleins de ressources, offrent des solutions adaptées à presque tous les domaines d'application. La figure 2 montre un kit xénon H8/H9/H11 disponible pour moins de 30 € non seulement directement de Chine chez les suspects habituels (*Alibaba* ou *Banggood*), mais aussi plus confortablement chez *Amazon* et même, avec un peu de chance, dans un magasin près de chez vous. Des lampes de rechange à LED provenant des mêmes sources sont disponibles à des prix encore bien inférieurs à 100 € pour un résultat encore meilleur et, dans certains cas, à des prix sensiblement inférieurs à celui d'une «bonne» lampe halogène.
Est-ce permis ? Non, malheureusement !

Alors que les règles sont assez souples aux États-Unis et, de façon moins surprenante, aussi dans de nombreux pays asiatiques, nous, Européens, sommes sous la coupe d'une législation plus restrictive. Dans toute l'UE, il est strictement interdit d'équiper un projecteur homologué pour des lampes halogènes de toute autre source lumineuse différente. Point.
Si vous le faites, vous modifiez votre véhicule et les compagnies d'assurance peuvent refuser leur couverture en cas d'accident. Ça fait réfléchir, n'est-ce pas ?

La situation juridique ne s'embarrasse pas d'arguments techniques ni de bonnes raisons de remplacer des halogènes par des lampes au xénon ou LED. Pendant ce temps, nous viennent d'Orient des lampes LED adaptées au remplacement direct de lampes à incandescence. L'ADAC a étudié ces substituts à LED **[1]** et leur bilan est positif, mais cela ne change à rien à l'interdiction. Tant que le législateur ne reverra pas la règlementation et les normes d'homologation des lampes de substitution à LED, même les spécialistes comme *Osram* ou *Philips* négligeront ce marché pourtant intéressant. Ce statu quo ménage la marge de profit des constructeurs automobiles, et stimule la prolifération de solutions illégales d'amélioration de l'éclairage. Quel code protègera les *tuneurs* contre les produits asiatiques douteux ? L'offre des boutiques en ligne montre à quel point le code HTML est patient : les informations de performances, de flux lumineux et de température de couleur ainsi que de durée de vie n'y sont pas très fiables.

D'un point de vue technique, ce n'est pas une bonne idée de se laisser tenter par ces *rétrofits*. À puissance similaire, leur surface de LED est plus grande que celle des filaments des lampes halogènes. Les propriétés d'éclairement, en particulier dans un projecteur à réflecteur parabolique, seront différentes. Dans le cas de projecteurs, ce n'est pas dramatique, car la lumière projetée sur la route à travers une lentille est limitée par un obturateur. Il y a cependant des problèmes thermiques et électriques. En effet, la configuration d'un phare ordinaire équipé d'une lampe à LED de substitution n'est pas celle d'un projecteur équipé de LED d'origine. Non seulement il faut un ballast électronique (problème mineur), mais il faut aussi dissiper la chaleur des LED dont l'échauffement doit être maîtrisé. Un radiateur passif en alu ne suffit pas ici, il faut une ventilation active (**fig. 3**). Vu l'exiguïté de l'agencement des voitures modernes, ce radiateur ventilé qui dépasse à l'arrière de la lampe ne tiendra pas dans la plupart des phares. Pire, si ces mini-ventilateurs s'encrassent, les LED grilleront et, dans certaines circonstances, elles risquent d'abîmer les phares eux-mêmes par des dépôts de fumées et de vapeurs.

Alternatives (il)légales

Les souhaits des amateurs de personnalisation automobile ont été rapidement reconnus par l'industrie. En réponse à la progression des luminaires au xénon sur les routes, on trouve de plus en plus de lampes halogènes promettant une lumière plus froide, obtenue par un corps en verre coloré en bleu (**fig. 4**). Non seulement cela n'aide pas beaucoup, mais cela réduit l'efficacité lumineuse. Le spectre lumineux des lampes halogènes est chaud. Or, le filtre bleu, s'il atténue bel et bien la lumière rouge de longueur d'onde plus longue, n'en offre pas pour autant une lumière bleue plus intense. Si le résultat est bien une lumière un peu plus bleue, son intensité est en fait plus faible. Cette évidence devrait suffire à vous guérir de l'envie de vous laisser tenter par cette offre fallacieuse. Et puisque nous parlons d'intensité : il existe des versions à 100 W de lampes halogènes courantes, ce qui est bien au-dessus des 55 à 65 W autorisés. C'est donc illégal et risqué. Les coques en plastique des phares ne sont pas conçues pour une telle puissance et risquent d'être endommagées par le supplément de chaleur mal dissipée.

Et si on remplaçait directement les phares halogènes par de vrais phares au xénon ou à LED ? Malheureusement, il n'existe pas grand-chose sur le marché des accessoires et des pièces de rechange fabriqués par des tiers. Quant aux pièces d'origine, elles sont généralement hors de prix. Outre leur prix, il y a aussi l'obstacle de la législation qui prescrit la présence d'un système de nettoyage des phares pour les flux lumineux de plus de 2.000 lm. Et ce n'est pas tout : le réglage automatique de distance des phares est également obligatoire. L'installation ultérieure de ces deux systèmes est très coûteuse à tous égards, techniquement et économiquement). Je ne connais qu'une exception, celle du groupe VW qui a récemment installé des lampes au xénon d'une puissance de 25 W seulement et un flux lumineux inférieur à 2.000 lm, faisant donc l'économie du nettoyage des phares. Le réglage de profondeur des phares est toutefois intégré. Si vous êtes intéressé, Osram fabrique ces lampes sous le nom de D8.

Si vous voulez plus de lumière, vous pouvez acheter des lampes halogènes spéciales vendues par les fabricants (de marques) pour

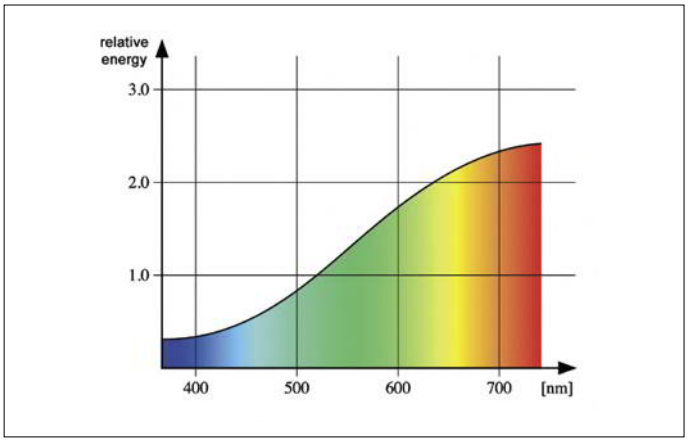


Figure 4. Spectre lumineux des lampes halogènes. Il n'y a pas beaucoup de bleu (photo : Jean-Jacques MILAN, GNU CCL 1.2, CCASA 3.0[5]).

un prix en lui-même modéré, mais relativement élevé. Oubliez les ineptes lampes à verre coloré, pour un peu moins de 20 € la paire, *Philips* propose ses types *X-tremeVison* et et *RacingVision* avec respectivement 130 % et 150 % de l'efficacité lumineuse des halogènes normales. Il semble que leur température de couleur plus élevée, avec quelque 3.500 K, soit compensée par une coloration bleu pâle du verre, mais le flux lumineux de l'une et l'autre se maintient à 1.500 lm. Ne pas prendre la fiche technique **[2] [3]** au pied de la lettre, car d'une part, ces lampes sont annoncées avec « 130 et 150 % de lumière en plus », alors que ce ne sont que 30 et 50 % et d'autre part parce que ces différences apparaissent, bien que la lampe la plus faible soit spécifiée pour 1.550 lm et la plus forte pour 1.500 lm. Que la longévité de la première soit de 350 h contre seulement 200 h pour la seconde (contrairement aux 1.000 h d'une lampe standard) est paradoxal mais vraisemblable.

Osram, l'autre grand fabricant de lampes, n'est pas en reste et propose pour un peu plus de 20 € des halogènes *Night Breaker* **[4]** (**fig. 5**) supposées « jusqu'à 150 % plus lumineuses que les exigences minimum légales «. Peu importe ce que ça veut dire : le flux lumineux ici est étonnamment modéré (1.350 lm) et la lampe tiendrait 250 h. J'ai donc acheté.

Tuning halogène et physique

Dans les commentaires sur Amazon et ailleurs, les frustrés sont nombreux parmi les utilisateurs de ces lampes halogènes à haute performance, déçus surtout pour leur «longévité». Selon la tension de bord, les lampes halogènes même les plus chères claquent rapidement. Pas étonnant, les fabricants prévoient une tension d'environ 13,2 V à leurs bornes. Or, la tension des alternateurs de la plupart des voitures, adaptée à la tension de charge finale des batteries au plomb, est d'environ 13,8 à 14,2 V. Selon la chute de tension dans les lignes d'alimentation et à travers les contacts de relais, la tension réelle aux bornes des lampes pourra être tour à tour inférieure ou supérieure à 13,2 V. Le diagramme de la **fig. 6** montre ce que cela implique : 5 % de tension en plus suffisent pour diviser par deux la durée de vie, tandis que sa luminosité augmente de 20 %.

Est-elle réellement plus lumineuse ? Non, car ces 20 % de surcroît de luminosité sont à la limite du seuil de perception, car

Figure 5. Les Night Breakers d'OSRAM offrent 150 % de lumière en plus.

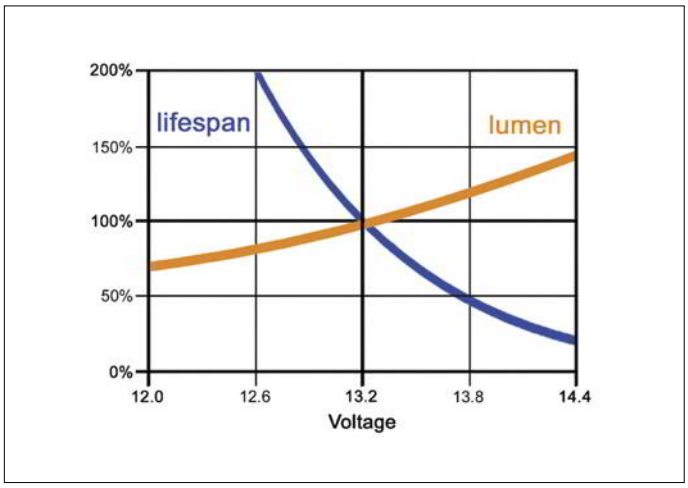


Figure 6. Influence de la tension de service (*voltage*) sur la longévité (*lifespan*) et l'efficacité lumineuse (*lumen*) d'une lampe halogène.

le rapport entre luminosité perçue et flux lumineux est logarithmique. Dans ces conditions, il faudrait plus que quadrupler le flux lumineux pour doubler la luminosité perçue. La deuxième déception vient donc de l'impression que ces lampes ne sont que « légèrement plus lumineuses « alors que l'augmentation du flux est de 50 %. Le refroidissement de température de couleur est réellement perçu, comme positif. 500 K de plus par rapport à la lumière halogène normale, ça se voit bien.

Ce qu'on peut voir aussi : Ces superbes lampes halogènes à hautes performances sont conçues que leur filament chauffe plus et donne donc plus de lumière plus froide, au prix d'une longévité moindre. Il ne s'agit donc que d'une lampe alimentée avec une légère surtension, rien de plus. Et tout ça coûte cher... en frais de marketing qu'il faut bien que quelqu'un paie !

Figure 7. Convertisseur CC/CC : 9 à 14 V | 13,8 V, étanche, encapsulé dans un robuste boîtier alu.

Alors à quoi bon tout cela ? À mon avis, tout ceci est faisable. Le surcoût est limité et toutes les autres interventions sont soit interdites, soit réellement coûteuses.

Que la lumière soit… stable !

De nombreux utilisateurs de ces lampes halogènes se plaignent de leur fréquence de remplacement élevée. Chez moi, un jeu de ces lampes a tenu trois ans et un bon 50.000 km, mais je ne les ai pas trouvées beaucoup plus lumineuses que les halogènes normales. Rien de surprenant si on se réfère à la psychophysique de la vue, mais j'ai eu des soupçons : n'y aurait-il pas sur ma voiture quelque chose qui cloche ?

Je conduis une Prius III. Elle n'a pas d'alternateur. La batterie au plomb de 12 V nécessaire à l'éclairage, à la direction assistée et à l'ordinateur de bord est simplement chargée en douceur par l'électronique à partir du courant des batteries haute tension. L'intensité du courant demandé à la batterie au plomb-acide est (je l'ai mesurée) mesurée de 20 A et sa tension maintenue à un peu moins de 13 V. La batterie est logée à l'arrière du coffre. Sur les feux à l'avant, je mesure à peine 11,8 V). D'après la fig. 6, la durée de vie passerait à environ 400 %. Tout s'explique : la longue durée de vie que j'ai constatée, je la paie par 30 % de lumen en moins. Et comme la Prius a pour ses feux de croisement un phare à projecteur, il n'y a pas lieu de s'étonner de la médiocre lumière.

J'aurais pu m'y prendre autrement, mais pour la lampe à LED, j'aurais dû choisir un équipement de la classe au-dessus… plus cher, et qui m'aurait coûté 0,1 l/100 km de carburant en plus. En l'achetant, je m'étais dit : « Si c'est écologique, alors c'est la bonne chose à faire ». Me voilà bien puni !

Y aurait-il un remède à cette chute de tension ? Un puissant convertisseur CC/CC de 12 V à environ 13,2 V peut-être ? eBay propose des convertisseurs de suralimentation appropriés avec une capacité de charge de 8 A – un peu de marge, c'est bien. Pour 12 €/pièce, dans un joli boîtier alu, malheureusement sans sortie 13,8 V ajustable. Je trouverais bien un remède pour ça. Trois semaines plus tard, est arrivé ce que montre la

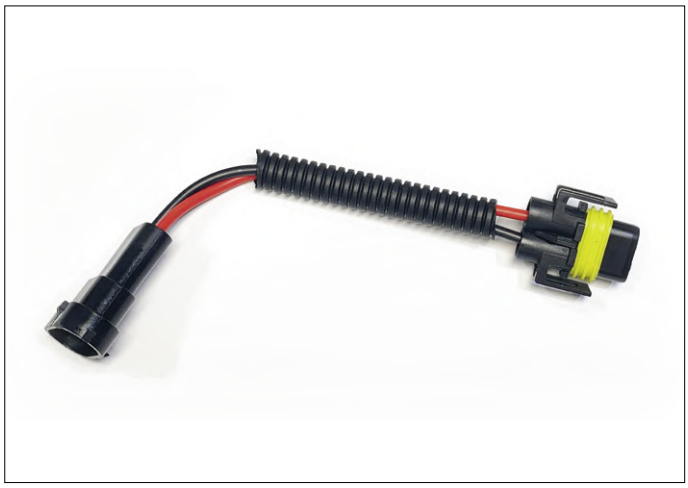


Figure 8 : Rallonge pour lampes halogènes. Les convertisseurs ont été équipés de prises et de prises correspondantes pour le branchement en boucle.

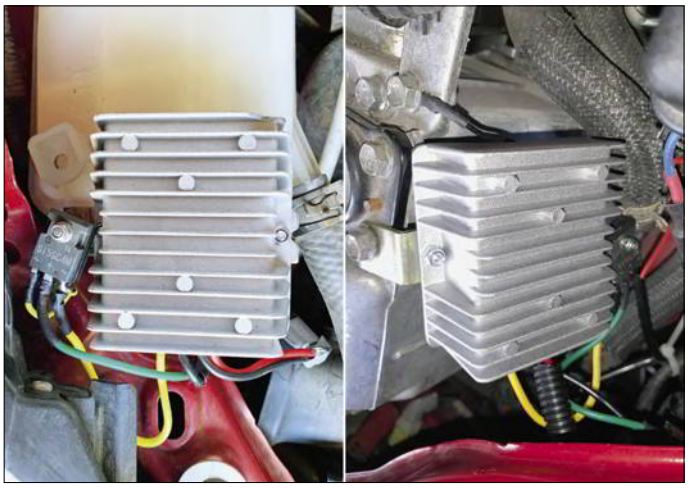


Figure 9 : Convertisseurs gauche et droit avec Schottky de puissance en série avec la sortie.

fig. 7. Mes tests ont montré que ce convertisseur convient, car il maintient les 13,8 V de sortie même avec des charges variables et une tension d'entrée variant de 9 à 14 V. Auprès d'une autre source, j'ai aussi commandé deux rallonges H11 (**fig. 8**) à 2 €/pièce, à couper au milieu pour les souder aux convertisseurs. Comme les 13,8 V réduiraient de moitié la durée de vie des ampoules, j'ai décidé de réduire un peu la tension avec une diode Schottky. Montées en série avec la sortie, les diodes de 15 A des anciennes alimentations de PC font chuter la tension de 0,4 V. Mes mesures l'ont confirmé : sur la lampe halogène, je relève pile 13,4 V. Va comme ça.

À l'aide de supports métalliques, j'ai donc installé les deux convertisseurs CC/CC modifiés près des phares (**fig. 9**). Sur le côté gauche, c'est un peu étroit. La lumière des feux de croisement extérieurs est un peu plus froide que celle des feux de route **(fig. 10**). Au-dessus, le feu de position de 5 W non halogène, est franchement jaunâtre. Après un mois d'opération et plus de 1.000 km de nuit, je ne me plains pas. Est-ce que ça valait la peine ? Si l'on accepte une part de subjectivité, la réponse est oui.

D'ailleurs, une telle modification devrait intéresser les conducteurs d'autres véhicules que la Prius, car la mise sous tension est plus progressive et le fonctionnement sans fluctuations de tension, ce qui est bénéfique pour la longévité des lampes. Comme il n'est fait appel qu'à des sources lumineuses homologuées et que les phares ne sont nullement modifiés, cette amélioration devrait, à notre connaissance, être légale. Si, à part ça, il n'est pas question de modifier l'éclairage extérieur d'une voiture, vous pouvez vous défouler sur son éclairage intérieur. Là, l'installation de lampes à LED est autorisée. Dans l'habitacle de ma voiture, il ne reste plus une seule ampoule ordinaire. ◀

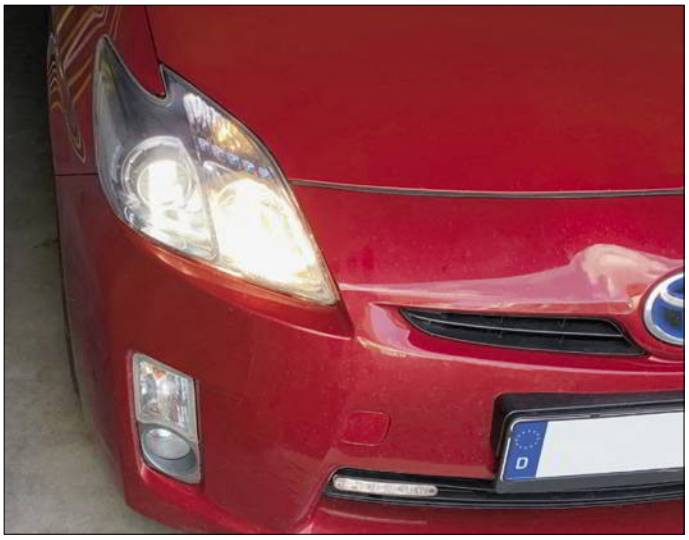


Figure 10. Waouh… Ma Prius avec ses nouveaux feux de croisement. Voyez-vous la couleur plus froide des feux de croisement, maintenant sous 13,4 V (feux de route : 11,8 V)?

(190161-02 VF)

Liens

[1] Test ADAC: www.adac.de/infotestrat/technik-und-zubehoer/licht/lichttechniken/

[2] X-tremeVision: www.philips.de/c-p/37166628/x-tremevision-fahrzeugscheinwerferlampe

[3] RacingVision: www.philips.de/c-p/12972RVS2/racingvision-fahrzeugscheinwerferlampe

[4] Night Breaker: https://bit.ly/2nm5E5g

[5] CCASA 3.0: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en

BANC D'ESSAI

station de soudage numérique Toolcraft

Luc Lemmens (Elektor Labs)

Pour le choix d'un poste, je préfère les produits de marque. Pas par snobisme, mais par goût des bons outils, qui me satisfassent pendant de nombreuses années. Qualité et fiabilité sont des facteurs importants, mais la disponibilité d'accessoires ou de pièces de rechange joue également un rôle important pour moi, longtemps après l'achat initial.

Je ne cache pas que l'étiquette *Voltcraft*, la marque maison de *Conrad*, n'est pas a priori de celles qui me font tourner la tête. Pourtant, leur station de soudage ST-100D semble disposer d'atouts suffisants pour mériter un examen minutieux. Voyons de plus près ce que vous pouvez obtenir si vous optez pour un produit de milieu de gamme à en juger d'après son prix.

De prime abord

En principe, vous n'avez dans la vie qu'une seule chance de faire une bonne première impression. Cette occasion-là, la ST-100D ne l'a pas ratée : côté poste, le robuste boîtier métallique est bien fini, côté fer, c'est du standard soigné. Je n'ai pas cherché à connaître l'historique de ce modèle, mais il m'a semblé voir qu'il y a au moins un prédécesseur de type similaire, ce qui me laisse penser que ce modèle a suffisamment fait ses preuves au fil des ans pour bénéficier d'une nouvelle variante basée sur un principe éprouvé. Cet aspect des choses me rassure, car il n'est pas toujours facile de distinguer une innovation fiable d'un caprice de mode passagère. On peut compter ici sur la disponibilité d'un fer à souder de remplacement et de pointes de rechange. Et si l'extérieur a fait l'objet d'un déridage de façade, il est réussi.

De plus près

Le boîtier métallique est lourd, ce qui en garantit la stabilité, notamment lorsque vous actionnez les boutons. J'aime ça. Un

afficheur à cristaux liquides indique la température de consigne et la température réelle du fer. Selon le mode d'emploi, le bargraphe sur la gauche de l'afficheur indique la puissance de sortie de la station, mais il semble plutôt indiquer l'écart entre la température réelle et la valeur de consigne.
Pour régler cette température, la commande rotative fonctionne mieux que les poussoirs *Up* et *Down* que l'on trouve généralement sur les postes à souder de nos jours. Trois boutons permettent d'appeler directement trois températures de consigne prédéfinies par l'utilisateur. J'aime ça.
Sans oublier l'interrupteur marche/arrêt à l'avant, la prise pour le fer à souder et une fiche de 4 mm pour la liaison équipotentielle. Cette station ne réduit pas automatiquement la température quand le fer reste inutilisé. Il faudra donc penser à arrêter vous-même la station à temps si vous vous souciez de la longévité de vos fers et du gaspillage d'énergie.

Figure 1. La face avant est bien agencée ; l'affichage de la température fonctionne très bien.

La seule fonction 'cachée' de cet appareil, cachée parce qu'on n'y accède pas directement par un menu, est l'étalonnage de la température dont vous n'avez toutefois besoin qu'en cas de changement de fer. Pour cela, il faudra un thermomètre capable de mesurer des températures jusqu'à 450 °C. C'est un souci pour plus tard, car la station telle que vous l'achetez a heureusement été couplée en usine au fer à souder fourni. Si vous changez de panne, la température pourra être légèrement différente. Dans ce cas, il suffit de régler un décalage (*offset*) sur l'afficheur, mais pour cela aussi il vous faudra un thermomètre approprié.

Figure 2. Ce support aurait pu être un peu plus lourd. Faute de place pour les deux, il faut choisir : éponge humide **ou** paille métallique sèche.

Support du fer

Je suis un peu déçu par cet accessoire pas si accessoire que ça. La stabilité d'un support de fer sur la table est sa qualité primordiale. Ce n'est pas l'impression que j'ai eue avec cet ensemble dont la masse gagnerait à être augmentée un peu. On vous donne une éponge pour le nettoyage humide et une pelote de paille de laiton pour l'élimination à sec des résidus de soudure et de résine. Mais il faut choisir, le support de soudure n'offre de place que pour l'un ou l'autre. Je préfère l'éponge humide et n'utilise la paille métallique que pour un nettoyage à sec approfondi. Passer de l'un à l'autre n'est pas très commode avec ce support.

Les pannes

Le manuel ne mentionne pas de pannes appropriées pour ce fer à souder. Mais si vous cherchez dans la boutique en ligne de Conrad, vous trouverez une série de pannes appropriées de 1,2 à 3,2 mm, avec divers profils. Sur l'une de leurs photos, j'ai remarqué le logo et le nom de l'entreprise *Hakko* ; leur excellente série 900M-T de pannes à souder est disponible ailleurs sur la toile à des prix intéressants et dans toute sa variété.

Pour ce qui concerne les pannes, ce fer à souder est donc un excellent choix, mais ne vous faites pas trop d'illusions, certaines des pannes marquées *Hakko* que vous trouverez à bas prix risquent d'être des copies de moindre qualité.
Hakko ne fournit cette série de pannes que comme pièces de rechange, mais ne les utilise plus pour ses fers à souder plus récents. Renseignements pris, *Hakko* propose maintenant la série T18 améliorée, qui remplace avantageusement la série 900M.

Figure 3. La station est fournie avec une panne fine (1,2 mm) en forme de crayon.

Notre *Toolcraft* ST-100D est livré avec une panne en forme de crayon de 1,2 mm, parfaite pour les travaux plus fins (CMS). J'aurais préféré une pointe en biseau d'environ 2,4 mm, plus polyvalente, notamment pour les soudures moins fines. Heureusement, le prix des pannes est raisonnable, et il est recommandé d'en avoir toujours de plusieurs tailles et profils différents. Pour être toujours paré à la manœuvre, autant en commander quelques-unes tout de suite.

Alors, comment ça soude ?

Quand on parle d'un outil, la question la plus importante reste : qu'en dit la main qui le tient ? Le cordon entre fer et station est peut-être un peu épais, mais il est assez long et certainement ni trop rigide ni trop lourd quand vous soudez. Même à la température la plus élevée, la poignée ne chauffe pas trop, c'est bien agréable. Tout cela reste une question de goût : j'ai trouvé cette station *Toolcraft* bonne et agréable à manipuler, mais un collègue trouve la pointe trop longue pour souder avec précision. Ma main est trop loin de la pointe, déplore-t-il. La station maintient le fer à la bonne température. Même si la panne fournie n'est pas idéale pour les grosses soudures, il suffit d'un petit effort, en appuyant bien le fer à plat, pour porter à la bonne température, même de grandes surfaces avec un embout aussi fin.

Dans l'ensemble, pour le prix du poste *Toolcraft* ST-100D, je pense que vous avez une bonne station de soudage, en dépit des quelques points où elle pourrait être améliorée. Il est probable que si la station de soudage parfaite existait, il n'y aurait pas sur le marché un tel choix de marques et de modèles. ◀

(190385-04 VF)

Arduino Pro IDE

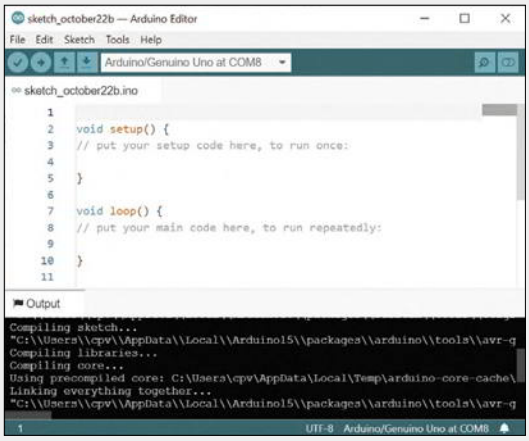
mes premières impressions

Clemens Valens (Elektor Labs)

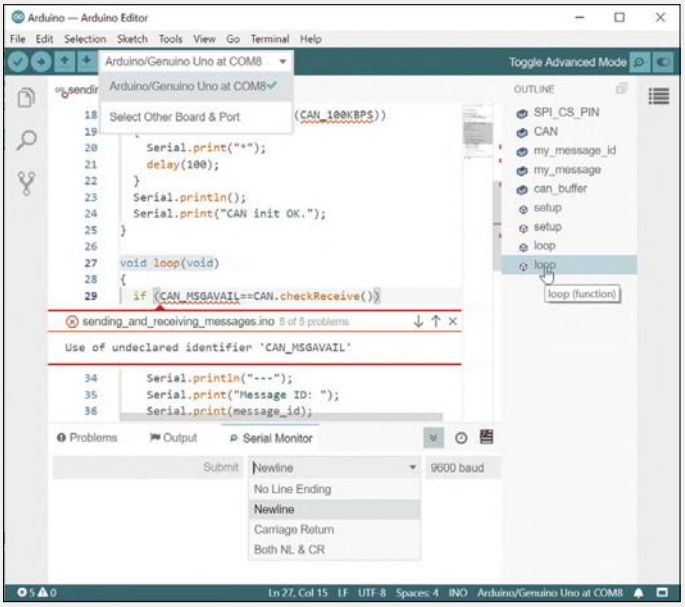
Sorti en octobre lors de la *Maker Faire* de Rome, l'EDI Arduino Pro est basé sur *Eclipse Theia*. L'interface de ligne de commande classique offre toujours toutes les fonctions principales de l'Arduino, mais fonctionne en mode *deamon*. Disponible pour Windows, MacOSX et Linux64, l'EDI Arduino Pro en était à la version *0.0.1-alpha-preview*, ce qui suggère de laisser passer quelques versions avant de l'adopter. Ceux qui préfèrent construire eux-mêmes l'EDI à partir du code source attendront aussi.

Ça vaut le coup d'oeil

- Dual Mode : classique et avancé
- Nouveau gestionnaire de cartes
- Nouveau gestionnaire de bibliothèques
- Liste de cartes
- Complétion automatique
- Intégration de GIT
- Moniteur série amélioré



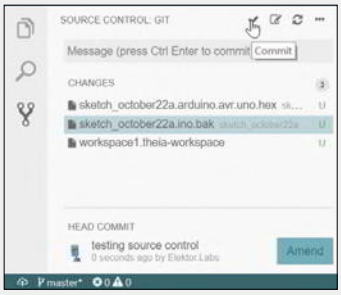
En mode *Classic*, l'EDI de l'Arduino Pro ressemble en effet beaucoup à l'EDI classique.



Quelques-une des nouvelles fonctions telles que la sélection de la carte et du port, la trame du croquis, la configuration du moniteur série et la messagerie d'erreur.

En cas d'erreur de compilation, l'éditeur propose des solutions.

L'auto-complétion, il faut s'y habituer, mais on finit par y gagner, ça évite les fautes de frappe.



La gestion contrôlée du code source par GIT est prévue, mais comment l'utilise-t-on ?

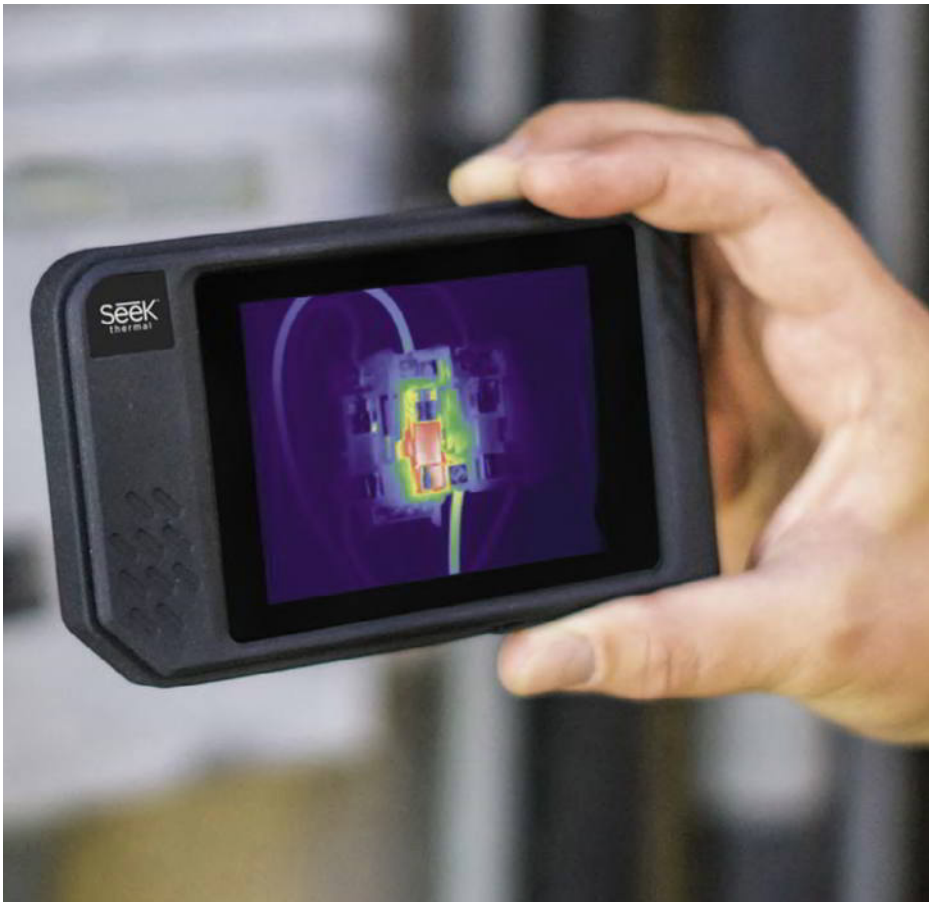
191146-02

Lien

[1] Vidéo : premières impressions de l'Arduino Pro IDE : https://youtu.be/AfvCBJ8By-0

Comparaison de deux caméras de vision thermique

Harry Baggen
(Elektor Labs)



Les caméras infrarouges sont extrêmement pratiques pour identifier les ponts thermiques d'une habitation, les engorgements dans une conduite d'égout ou les points chauds d'une installation électrique.
D'où leur intérêt pour les ingénieurs électroniciens qui ont besoin de repérer les problèmes thermiques de leurs circuits. Dans ce banc d'essai, nous comparons deux caméras de vision infrarouge du fabricant américain Seek, aux résolutions bien supérieures à celles d'autres appareils dans la même catégorie de prix...

Les caméras infrarouges sont pratiques pour déceler les ponts thermiques d'une habitation, les engorgements dans une conduite d'égout ou les points chauds d'une installation électrique. D'où leur intérêt pour les électroniciens qui ont besoin de repérer les problèmes thermiques de leurs circuits. Nous comparons deux caméras de vision infrarouge de l'américain *Seek*, aux résolutions bien supérieures à celles d'autres appareils dans la même catégorie de prix.
À l'inverse d'une caméra normale, la caméra thermique n'est pas sensible au spectre lumineux visible, mais aux infrarouges. Ce rayonnement permet de mesurer la température des objets observés. Généralement, les valeurs obtenues sont représentées à l'écran par différentes couleurs. Les deux produits évalués ici appartiennent à des segments de prix très différents. D'un côté, nous avons la caméra semi-professionnelle *Seek ShotPro*, de l'autre le modèle *Seek Compact*, constitué d'un module additionnel pour smartphone, en deux versions, *Android* et *iPhone*. Ces deux appareils ont néanmoins un point commun : la possibilité de donner une image très détaillée de la répartition précise de la chaleur. À titre de comparaison : une caméra infrarouge accessible autour de 1000 € possède un capteur d'une résolution maximale de 160x120 pixels, alors que la *Seek ShotPro* affiche 320x240 pixels. Plus modeste, le modèle *Seek Compact* possède tout de même un capteur d'une résolution de 206x156 pixels.

Seek ShotPro

La ShotPro est une caméra infrarouge autonome au format smartphone. La totalité du boîtier est recouverte d'une housse de caoutchouc résistant et l'ensemble semble pouvoir endurer un choc occasionnel. À l'avant se trouve l'objectif, protégé par un cache. De l'autre côté, un écran tactile de 3,5 pouces. La caméra permet une connexion sans fil en Wi-Fi avec un PC.
Lorsque vous touchez l'image à l'écran, une barre apparaît en haut et en bas pour accéder aux paramètres. La barre du haut permet d'accéder aux préférences, notamment le choix de l'unité de température, l'horloge et l'émissivité. La barre du bas donne accès aux paramètres des images. Vous y trouverez différents modèles de couleurs pour l'affichage, les tempéra-

Figure 1. La caméra thermique Seek ShotPro

Figure 2. La caméra thermique Seek Compact

tures des points spécifiques affichées et l'accès aux captures d'écran stockées.
L'une des icônes les plus importantes est l'« œil » qui vous permet de combiner l'image thermique avec une image de la caméra normale, également intégrée. Vous disposez ainsi d'une représentation mixte qui permet de mieux voir ce que vous mesurez. Vous pouvez pondérer l'importance de chaque image dans l'affichage. Il y a aussi la possibilité de décaler l'image infrarouge par rapport à celle obtenue dans le spectre visible pour les aligner au mieux, une fonction connue des caméras professionnelles.

Seek Compact

La caméra est fournie dans un robuste coffret de rangement. Cette caméra est le plus petit modèle de la gamme *Seek*, avec à peine 4,5x2x2 cm. Elle contient néanmoins un capteur d'une résolution de 206x156 pixels. La *Seek Compact* est un module additionnel pour smartphone, proposé en deux versions : avec connecteur micro-USB (Android) ou connecteur *Lightning* (iPhone/iPad).
Une fois l'application associée installée, la *Seek Compact* est à votre disposition. Ses fonctions sont très proches de celles de la *ShotPro*. Vous avez le choix de toute une gamme de palettes de couleurs, outre différentes options pour afficher les températures des points choisis, une fonction de capture d'écran et un menu de configuration. Contrairement à la *ShotPro*, il n'existe pas d'option pour configurer l'émissivité, ce qui ne manquera à presque personne pour une utilisation courante.
La *Seek Compact* permet aussi de combiner l'image thermique et celle issue de la caméra du smartphone. Pour autant, le résultat est assez différent, puisqu'une partie de l'affichage représente l'image thermique et l'autre celle de la caméra normale. Les images ne sont donc pas superposées l'une à l'autre comme avec la *ShotPro*. Il existe différents paramètres pour régler la taille et la position des images, mais je n'ai pas trouvé le résultat très convaincant à cause des différences des angles de visualisation et des positions des caméras.

Comparaison n'est pas raison

J'ai testé ces deux caméras côte à côte en effectuant des mesures sur de nombreux objets. En pratique, la *Seek ShotPro* apparaît comme un instrument commode et robuste, offrant une très bonne qualité d'image. La résolution est excellente, en particulier concernant la superposition des images dans le visible/l'infrarouge qui apporte énormément d'informations. D'après le fabricant, l'autonomie de la batterie est de quatre heures, ce qui est plutôt satisfaisant. Si l'on prend en compte la qualité et les performances, vous en avez pour votre argent.

Avec la *Seek Compact*, les contours de l'image ne sont pas toujours nets. J'ai effectué quelques expérimentations avec les palettes pour essayer d'obtenir un affichage un peu plus précis. Comme la résolution est manifestement inférieure à celle de la *ShotPro*, vous pouvez compenser cet inconvénient en vous rapprochant de l'objet à visualiser. Avec la *Seek Compact*, la solution de la double image n'est pas aussi élégante. C'est tout simplement l'inconvénient d'un module additionnel qui ne possède qu'une seule caméra intégrée. Ceci étant dit, il convient de garder à l'esprit le modeste prix de ce modèle.
Les deux solutions sont adaptées pour mesurer les températures des circuits électroniques. N'hésitez pas à vous balader dans votre laboratoire ou chez vous, en dirigeant la caméra vers vos appareils, fenêtres et cloisons. Vous serez surpris de ce que vous allez... mettre en lumière. ◀

(190321-03 VF)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Seek Shot Pro Thermal Imaging Camera (320x240)
www.elektor.fr/18900

→ Seek Compact Thermal Imaging Camera (206x156)
www.elektor.fr/18901

expérience vécue

installer un labo et un atelier d'électronique

Ilse Joostens (Belgique)

Dès que j'ai un instant, je fais le tour des forums en ligne pour voir ce qui se passe en électronique aussi bien chez les amateurs que les pros. Ça discute souvent de l'équipement du labo ou de l'atelier. Chez les amateurs, je remarque surtout deux mentalités : *Grande Gueule* et *Petit Budget*. Le premier publie des photos de son espace de travail, rempli du sol au plafond d'obscurs appareils de mesure. Le second s'équipe chez le revendeur du coin, au supermarché le moins cher ou, de plus en plus, directement en Chine.

Si vous avez à faire du travail de pro et que vous commercialisez vos propres produits, vous ne pourrez pas vous contenter d'un tisonnier. Essayons d'y voir clair.

Appareils de mesure et outillage électronique

Voici mon équipement : trois alimentations de labo, deux multimètres, un oscillo assez ancien, deux postes de soudage, une station à air chaud, un programmateur universel, un microscope binoculaire et une caméra thermique achetée pour d'autres usages que l'électronique. Je préfère la qualité à la quantité, certainement pour les outils à usage intensif. Je me fie aux marques réputées, en me limitant à ce dont j'ai vraiment besoin. Ergonomie, fiabilité et longévité sont les qualités primordiales. Sans oublier le prix, bien sûr, mais aussi d'autres aspects moins évidents.

Comme vos instruments de mesure apparaissent parfois sur vos vidéos YouTube ou dans les illustrations de la notice d'un de vos kits, convenez qu'un multimètre professionnel décent fait quand même meilleure figure qu'un multimètre bon marché. Il s'agit de laisser à vos clients une impression favorable qui corresponde à votre niveau professionnel.

Dans mon pays, la charge fiscale est parmi les plus lourdes du monde occidental. Un des moyens de réduire ces impôts est d'investir dans le renouvellement du matériel, comme je l'ai fait à la fin de l'année dernière, sur les conseils de mon comptable. Pour tirer le meilleur rapport entre gain d'ergonomie et déduction fiscale, j'ai fait l'acquisition entre autres de deux excellents postes à souder, très solides mais très chers.

C'est toujours un coup de poker, mais je ne crains pas d'acheter d'occasion certains appareils d'usage moins fréquent (un programmateur p. ex.) ou moins critique.

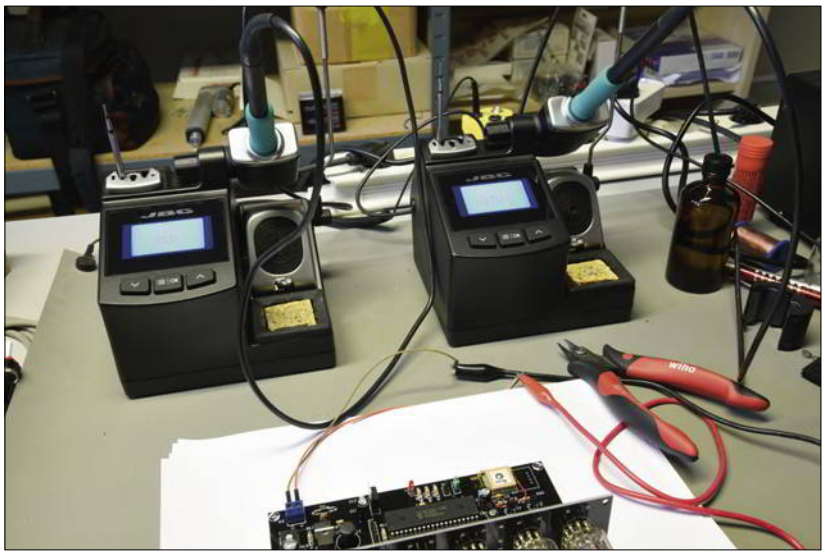


Figure 1. Des postes à souder onéreux que j'ai pu m'offrir grâce au fisc belge.

Des machines pour produire

Si vous entendez commercialiser vos produits sans en externaliser intégralement la production, vous aurez besoin d'une ou plusieurs machines de production. Indispensables chez moi sont la découpe au laser et le four de refusion.

Je déconseille d'investir dans des modèles bon marché destinés à un usage occasionnel. Rien de plus frustrant qu'une machine-outil en rade au beau milieu d'un processus de production, avec des centaines de commandes en souffrance et des clients insatisfaits. À long terme, avec une machine moins chère, vous dépenserez toujours plus d'argent ! Sans parler de désagréments récurrents tels que les dizaines de remplacements de ce fichu tube laser qui ne cesse de claquer. Avec de l'outillage pro, vous n'aurez guère de soucis de pièces de rechange ; dans certains cas, le contrat de maintenance n'est pas dépourvu d'intérêt.

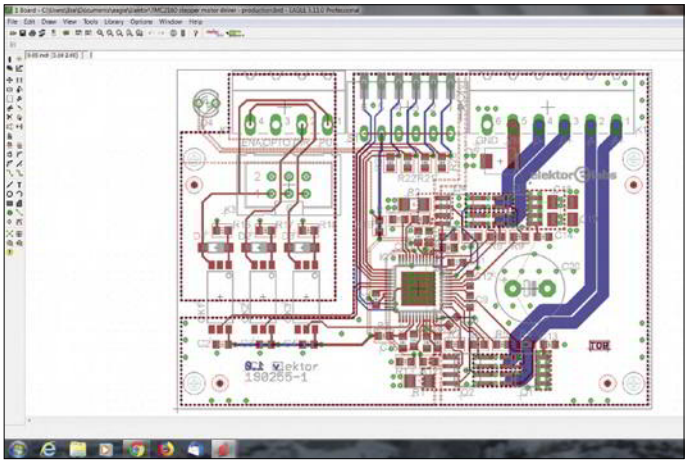


Figure 2. La version 5 d'Eagle n'est pas la plus récente, mais elle me convient.

Équipement spécial

En plus des classiques, si vous commercialisez vos propres produits, il vous faudra d'autres outils généralement moins importants pour l'amateur moyen. Je pense à un bon appareil photo reflex mono-objectif solide pour les photos de produits, sans oublier l'éclairage et les fonds pour les photos ; à la thermosoudeuse, à l'imprimante laser couleur, au massicot, aux étagères pour le stockage des produits finis et des composants, à divers outils électriques, etc. Tout cela finit par coûter, alors autant en tenir compte dès le départ.

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Toolcraft ST-100D Digital Soldering Station (100 W)
www.elektor.fr/18993

→ Weller WT 1010 Station de soudage digitale 90 W
www.elektor.fr/18514

→ Station de soudage & dessoudage de CMS à air chaud 50 W
www.elektor.fr/18020

→ Microscope Andonstar AD407 HDMI avec écran LCD de 7 pouces
www.elektor.fr/19079

Logiciels & extorsion

Vous aurez aussi beaucoup besoin de logiciels et de plusieurs ordinateurs. Je vous épargne mes conseils sur le matériel informatique, ce n'est pas le sujet d'Elektor. Je suis désolée, ce n'est pas moi non plus qui réparerai votre ordinateur !

Côté logiciels, outre le classique *Office*, j'utilise des logiciels de conception de circuits imprimés, de CAO (2D), de retouche photo, de PAO et diverses applications très spécifiques. J'entends souvent dire « Je n'achète pas de logiciel, je les copie. » A quoi j'ajoute : « Hélas ! » Quelqu'un qui ne peut trouver son bonheur dans les logiciels libres est forcé d'utiliser des applications commerciales, dont les licences sont parfois chères. L'évolution du modèle de licence de nombreux progiciels en passant de l'achat unique à l'abonnement annuel ou mensuel. Payer un montant raisonnable pour une licence permanente m'a toujours paru logique et viable. Ce n'est plus vrai avec les abonnements qui coûtent 600 ou 700 € par an : à mon sens, ça devient de l'extorsion. Appliqué à l'ensemble des logiciels que j'utilise, cela donne quelques milliers d'euros par an. Sans parler de ce qui se passe lorsque vous résiliez votre abonnement… Que deviennent alors vos fichiers ?...

Pour l'instant, je ne lâche pas mon bon vieux *Windows 7* et j'utilise aussi *Linux*. Mes anciens logiciels avec 'licence à vie' me donnent entière satisfaction. Même s'ils ont l'air un peu moins léchés, ils font vite et bien ce qu'ils sont censés faire. Les versions récentes sont des usines à gaz qui ralentissent le système sans avantage substantiel. Je ne reçois presque plus de messages des éditeurs de logiciels pour me supplier de passer à un abonnement. Ils ont fini par lâcher la proie ! ◀

(191152-02 VF)

Figure 3. Deux imprimantes et un microscope binoculaire.

électronique analogique

Étude de cas nº 1
Section 1 : microphone MEMS… *1-2-3 test 1-2-3*

Ton Giesberts (Elektor Labs)

Dans cette nouvelle série, des experts explorent des aspects de l'électronique analogique susceptibles de profiter à des lecteurs nés dans le numérique et pour qui l'analogique semble de la magie noire. Démarrons avec un composant étrange et omniprésent, le microphone MEMS. Extrêmement petit pour un composant analogique, peu fréquent dans les projets d'Elektor jusqu'à présent, sauf dans le détecteur de chauves-souris, un de nos montages les plus populaires depuis sa publication dans l'édition de septembre-octobre 2016 d'Elektor. Le microphone MEMS n'est pas de ces composants qu'on implante et qu'on peut oublier ensuite. Sa présence a une grande incidence sur le circuit, notamment sur l'amplificateur qui le suit. Voici quelques notions à retenir, avec les compliments de la VGA du labo d'Elektor (vieille garde analogique).

MEMS est l'acronyme de *Micro ElectroMechanical Systems*. Ce n'est pas de l'anglais, mais du grec pour désigner un petit composant en partie mécanique, placé sur ou associé à une puce semi-conductrice et caractérisé par un usinage de précision. Les MEMS sont des CMS : sur la chaîne de production, comme les autres composants, ils sont implantés automatiquement à l'aide de robots. Ils sont utilisés dans presque tous les segments de l'électronique : grand public, médical, communication, automobile, etc. L'électronique numérique moderne est truffée de MEMS, ce sont eux qui lui permettent de communiquer avec le monde analogique, par exemple pour la stabilisation d'image dans les caméras, la sécurité des disques durs, les stimulateurs cardiaques, les pompes à insuline, les transducteurs de pression médicaux, les téléphones portables, les coussins d'air et bien davantage.

Microphone MEMS

Le composant central de notre détecteur de chauves-souris-PLUS [1] est le microphone qui capte les sons surtout ultrasoniques émis par les chauves-souris. Si certaines espèces émettent en dessous de 20 kHz, mais au-dessus de 10 kHz, la plupart produisent surtout des ultrasons. Comme sur un micro à électret, une membrane, qui est le véritable capteur acoustique, provoque en vibrant de faibles variations de capacité qui peuvent engendrer des variations équivalentes de tension. Sur la plupart des micros à électret se trouve un JFET qui sert de semi-conducteur tampon. Sur un micro MEMS, la membrane acoustique est associée directement à une puce (ASIC) qui convertit la variation de tension analogique en un signal numérique — généralement par modulation de durée d'impulsion.

Il existe différentes configurations de micros MEMS (**fig. 1**), p. ex. avec le port acoustique au-dessus d'un orifice dans la partie métallique, ou avec le port acoustique entre les pastilles en bas, le trou est alors dans le circuit imprimé. Les micros MEMS sont plutôt insensibles au bruit sur la tension d'alimentation, aux chocs, aux vibrations, à l'humidité et à la condensation.

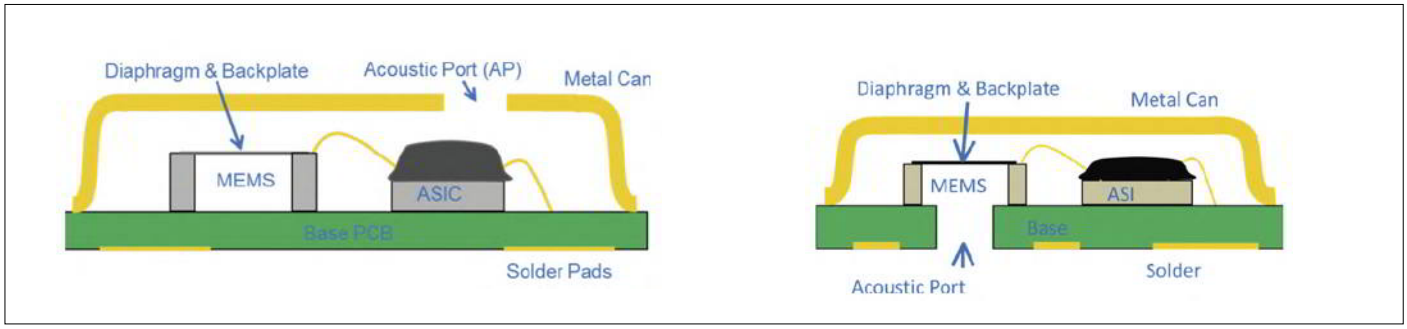


Figure.1. Coupe de deux microphones MEMS ouverts l'un au-dessous (à gauche), l'autre en dessous (à droite). Source : Note d'application 'sisonic-design-guide.pdf' par Knowles [2].

L'utilisation d'un micro MEMS sur une carte présente aussi des inconvénients. Pour éviter d'endommager le micro après le processus de refusion, pas question de nettoyer le circuit imprimé ni avec ni sans solvant. Suivez toujours la fiche technique et les recommandations du fabricant.
Comme la membrane du micro MEMS est petite, sa bande passante est haute : au-dessus de 10 kHz environ, sa sensibilité sera plus élevée de quelques dB. Le micro MEMS convient pour la parole, mais aussi pour les alarmes antivol, la détection de mouvement, etc. Le fabricant du composant utilisé dans le détecteur de chauves-souris^PLUS^ en propose qui montent à 80 kHz ! Même quand ce n'est pas spécifié, il est permis de supposer que leur sensibilité aux ultrasons et leur largeur de bande rendent ces types de micros MEMS utilisables pour notre application. On remarque toutefois sur la fig. 1 que l'orifice du premier modèle n'est pas au-dessus du diaphragme, ce qui affectera sa réponse en fréquence. Le deuxième modèle conviendrait mieux. La réponse en fréquence du SPH0641LU4H-1 ressemble beaucoup à la courbe supérieure de la **fig. 2** et place ce composant en „ deuxième „ classe.

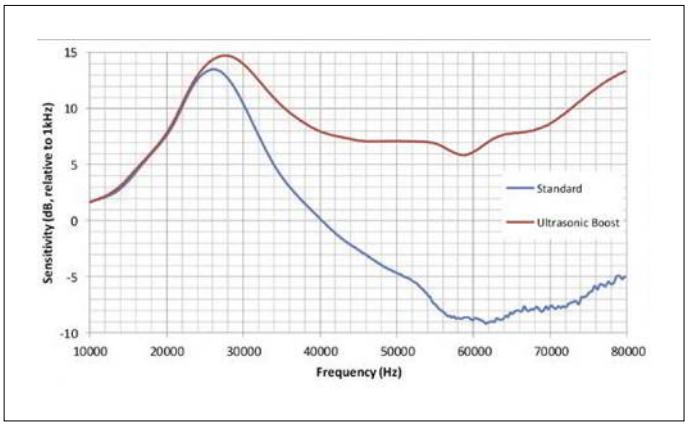


Figure 2. Courbe de réponse de microphones MEMS. Les micros SiSonic ouverts en dessous et MEMS-on-Lid ouverts au-dessus de Knowles conviennent pour la gamme des ultrasons de 20 kHz à 80 kHz dans laquelle ils présentent un gain spplémentaire.
Source : Note d'application 'sisonic-design-guide.pdf' de Knowles [2].

Microphone sur carte

Pour faciliter la reproduction du détecteur de chauves-souris, Elektor propose un petit circuit imprimé (**fig. 3**) disponible séparément avec le microphone MEMS déjà monté [**3**]. Cette carte est universelle. Si la tension d'alimentation est parasitée (bruit, interférences), ou si le circuit imprimé est connecté par un long câble à 3 fils, un condensateur de découplage implanté sous la carte sera utile — p. ex. un CMS de 100 nF 1206 soudé sous la carte. En 1206, ça se laisse encore facilement souder à la main. Sur le détecteur de chauves-souris^PLUS^, la tension d'alimentation est stabilisée séparément par une zener de 3 V. Les distances sont courtes puisque le circuit imprimé est incorporé à un jack de 3,5 mm, aucun découplage supplémentaire n'est donc requis. Si vous mettez un condensateur de découplage, prenez un type à diélectrique C0GP0, vous aurez moins d'indésirables effets de microphonie (laquelle convertit inopportunément les vibrations et autres chocs en tension). C'est un casse-tête avec les condensateurs céramiques qui sont aussi les pires condensateurs à utiliser pour le couplage ou de filtrage dans les amplificateurs audio, car leur capacité varie selon la tension appliquée. Le diélectrique C0GP0 est moins critique.
Comme sur (ou plutôt sous) les boîtiers BGA de circuits intégrés CMS, les connexions du microphone MEMS se trouvent *sous* le composant. Pour le souder, la refusion au four est la meilleure solution. Le microphone MEMS choisi pour le projet est de type port acoustique au-dessus. Avec un modèle dont le port est sous le composant, il faut un trou dans la carte sous le micro. La taille du trou et l'épaisseur du circuit imprimé affectent la réponse en fréquence du micro. Dans tous les cas, la configuration du circuit imprimé est un facteur à prendre en compte, car les réflexions sur les surfaces planes à proximité immédiate du micro exercent une influence sur la réponse en fréquence finale. Pour que l'orifice dans le corps du boîtier soit parfaitement aligné avec le port acoustique du micro, on place un joint. Son ajustement précis évitera les fuites d'air indésirables.

Adaptations à l'amplificateur analogique du micro MEMS

Qu'il s'agisse d'un micro MEMS, d'un micro à électret ou même d'un micro dynamique, avant de concevoir un amplificateur pour micro, il faut connaître l'amplitude du signal d'entrée, ainsi que le niveau du signal à appliquer en aval. Le microphone proprement dit importe surtout pour ce qui est de l'adaptation et de la tension d'alimentation correctes. Souvent, l'impédance d'entrée est spécifiée par le fabricant sans oublier l'indispensable résistance de polarisation pour un micro à électret. Au besoin, chercher un schéma d'application type. Si l'intensité nominale du courant de drain du JFET interne au microphone à électret est connue, vous pouvez même l'alimenter sous une tension plus élevée que celle qui est prévue à condition de corriger la valeur de la résistance en conséquence. En tout cas ne dépassez pas la tension maximale du JFET.

L'impédance de sortie d'un micro à électret sera plus élevée que celle d'un micro MEMS en raison de la résistance de polarisation et peut donc induire plus de bruit. Avec un micro à électret, c'est la résistance de polarisation du JFET de l'alimentation vers la sortie qui détermine la résistance de sortie. La valeur typique est 2,2 kΩ. Pour éviter une division excessive de la tension à l'entrée, la résistance d'entrée doit être de

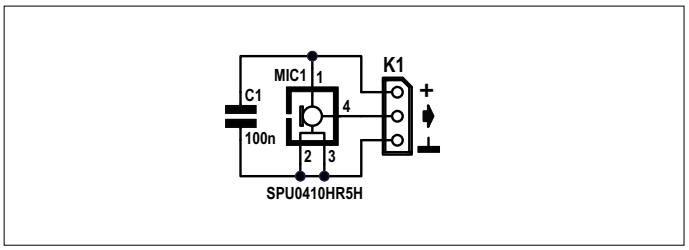


Figure 3. Schéma de la carte micro du détecteur de chauve-souris.

Liens

[1] détecteur de chauve-souris PLUS : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201611/39913

[2] Knowles' Sisonic Design Guide: www.knowles.com/subdepartment/application-notes/dpt-microphones/subdpt-sisonic-surface-mount-mems

[3] Carte microphone MEMS Elektor : www.elektor.fr/bat-detector-with-amplitude-recovery-mems

Pour naviguer et plonger

Voici pour affermir vos connaissances quelques liens complémentaires

1. Analog Devices : www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/mems-microphones-future-for-hearing-aids.html
2. Digikey : www.digikey.de/en/articles/techzone/2019/feb/mems-vs-ecm-comparing-microphone-technologies
3. MEMS intro : www.allaboutcircuits.com/technical-articles/improving-on-the-electret-an-introduction-to-mems-microphones/
4. Détecteurs de chauves-souris : www.skillbank.co.uk/bat_detectors/afd1.html
5. Circuits intégrés TDK InvenSense : www.mouser.co.uk/new/tdk/tdk-invensense-ics-40740/ (lire les ressources supplémentaires)

5 à 10 fois supérieure. Avec un amplificateur non-inverseur, cette résistance (qui peut être beaucoup plus élevée à l'entrée +) a beaucoup moins de conséquences sur le bruit. Les résistances du réseau de rétroaction ont des effets graves, mais elles peuvent être choisies beaucoup plus basses parce qu'elles ne représentent pas de charge pour le micro. Ce n'est que lorsque la fréquence de coupure à l'entrée est relativement élevée qu'une impédance d'entrée plus élevée est créée autour de cette fréquence. Sinon, cette impédance n'est déterminée que par la résistance de sortie du micro.

Si nous prenons un amplificateur inverseur, une résistance trop élevée induit un bruit d'entrée supplémentaire, de sorte que le choix de la résistance d'entrée sera un compromis, car elle fait partie de la boucle de rétroaction. Prenez R4 dans l'amplificateur du détecteur de chauves-souris^{PLUS}, elle fait 7,5 kΩ. Le bruit d'une résistance augmente avec la racine carrée de l'augmentation de sa valeur. Soit 3 dB de bruit en plus pour une résistance deux fois plus élevée (6 dB).

Quand un micro est utilisé sur un pied dans un concert ou sur un pupitre de conférencier, l'amplitude du signal de sortie est dans certaines limites connues. Si le signal capté est ultrasonique, la caractéristique du micro n'est pas spécifiée, et la distance de la source sonore à la membrane est aussi changeante et imprévisible qu'une chauve-souris en vol. Au-delà d'une certaine distance, l'air atténue les fréquences supérieures plus fortement que les fréquences inférieures. L'effet de la distance variable est encore plus sensible avec les ultrasons.
La fig. 2 montre les caractéristiques patatoïdes, en particulier la caractéristique standard. Vous pouvez commencer par déterminer le gain souhaité. Dans le cas de notre détecteur, il dépendra de ce dont le comparateur (IC3B) a besoin pour fonctionner correctement, et du niveau de signal nécessaire au redresseur IC4A pour extraire la modulation. L'empirisme a aussi sa part dans la détermination de ce gain qu'il faut adapter au micro utilisé.
Cela se complique si différents micros sont utilisés, mais que le gain de l'amplificateur est un réglage fixe. Il faut aussi limiter la gamme de fréquences d'un amplificateur : pour nos chiroptères volants, on adopte généralement une bande passante de 10 kHz à 120 kHz.

Dans la prochaine livraison de cette série, nous évaluerons le préamplificateur de micro original du détecteur de chauves-souris^{PLUS} et chercherons à l'optimiser pour le micro MEMS proposé. ◀

(191143-02 VF)

Sortez du rang !

Si vous êtes expert de l'électronique analogique et que vous possédez aussi de solides compétences en matière de rédaction et de communication, **veuillez faire un pas en avant et envoyer un message à jan.buiting@elektor.com**

Jan Buiting, l'éditeur de cette série, attend votre CV avec un échantillon de votre savoir-faire et de vos idées sur le contenu d'une telle rubrique.

PROJET DE LECTEUR

minuterie d'infusion de thé

Exercice de récupération d'énergie avec convertisseur thermoélectrique

Lothar Göde (Allemagne)

Une minuterie thermoélectrique pour théière limite précisément le temps d'infusion du thé dans l'eau chaude et retire le sachet le moment venu. Que la mécanique nécessaire pour cela soit commandée par l'électronique, ça n'a rien d'extraordinaire, mais que diriez-vous de soutirer l'énergie requise à cet effet non pas d'une pile ou d'une alim, mais de la différence de température entre l'eau chaude pour le thé et l'air ambiant ? Ce serait une sympathique application des techniques modernes de récupération d'énergie.

'ai découvert récemment dans un article la notion de *récolte d'énergie*, nouvelle pour moi. Un sujet intéressant et même passionnant. Peu après, par l'intermédiaire d'une association qui fournit du matériel aux jeunes pour les initier à l'électronique dans le cadre de leur éducation scolaire, j'ai reçu une trousse de collecte d'énergie ; au cœur de ce kit se trouve le LTC3108 [**1**] de *Linear Technology* (désormais *Analog Devices*), un circuit intégré fascinant. Il se contente d'une tension continue de seulement 20 mV, sous laquelle en principe aucun transistor ni MOSFET ne consentirait à fonctionner, mais délivre une tension de sortie susceptible d'alimenter un microcontrôleur par exemple. Le LTC3108 pourrait donc fonctionner avec la faible tension qu'une thermopile ou un convertisseur thermoélectrique délivrent à partir d'une différence de température entre les deux parties dont ils sont composés.

Convertisseur thermoélectrique

Comme son l'indique, un convertisseur thermoélectrique transforme en énergie électrique une différence de chaleur, ou inversement transforme en une différence de chaleur l'énergie électrique fournie. Il se compose de deux matériaux semi-conducteurs isotropes, homogènes, avec un dopage différent (P/N) (**fig. 1**). Une application populaire de l'effet thermoélectrique, ou effet Peltier, sont ces mini frigos bon marché, branchés sur l'allume-cigare de votre voiture dont ils épuisent la batterie en moins de temps qu'il n'en faut pour refroidir convenablement la bière.

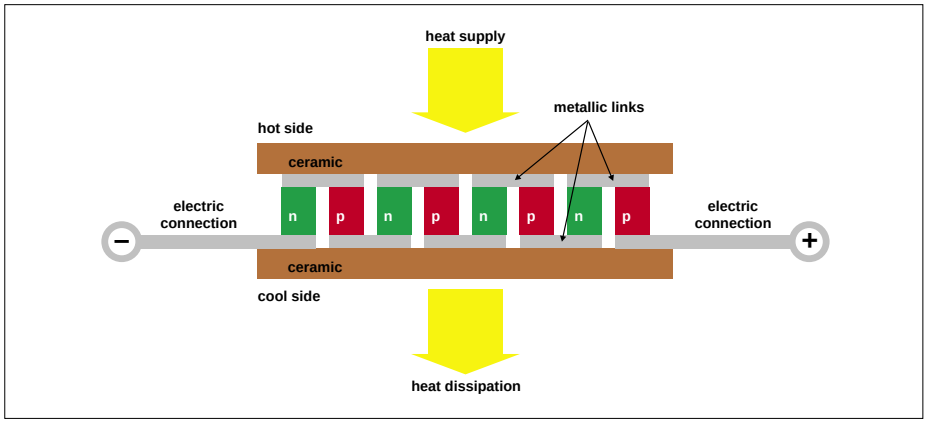


Figure 1. Éléments d'un convertisseur thermoélectrique.

À l'inverse de l'effet Peltier, il y a l'effet Seebeck qui convertit une différence de température en énergie électrique. La tension délivrée par le convertisseur dépend des propriétés de ses matériaux thermoélectriques et, bien sûr, de la différence de température. Pour que le rendement soit optimal, l'intensité du courant demandé à un convertisseur thermoélectrique ne doit, tout comme pour un convertisseur thermovoltaïque d'ailleurs, causer qu'une faible chute de tension aux bornes du convertisseur : on parle de point de puissance maximale ou *Maximum Power Point* (MPP).

Thé chaud, thé froid ?

Pendant que j'expérimentais avec l'intéressant kit d'apprentissage, je buvais mon thé, ou plutôt j'oubliais de le boire tant j'étais absorbé par le sujet. Pour résoudre le problème du thé trop fort et plus assez chaud, je me suis posé la question suivante : la différence entre la température d'un verre d'eau bouillante et celle de l'air ambiant suffirait-elle, une fois convertie en énergie électrique, pour actionner un mécanisme qui retirerait le sachet du verre de thé en temps voulu ? Pour y répondre, j'ai dû faire quelques expériences avec le convertisseur. Pour accélérer la dissipation de chaleur de la plaque *froide* du convertisseur, j'ai essayé un radiateur en alu d'unité centrale trouvée dans un tiroir. D'autre part, il faut tester différents verres à thé et maté-

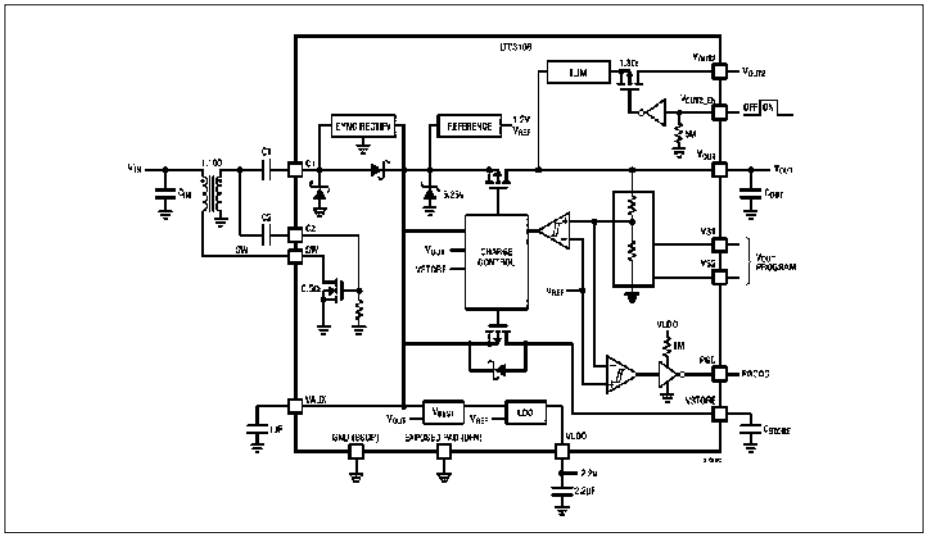


Figure 2. Le LTC3108 est en mesure de convertir l'énergie sortie de presque nulle part pour alimenter un petit circuit (source : *Analog Devices*).

riaux conducteurs de chaleur avant d'obtenir un transfert de chaleur optimal du côté de la plaque *chaude*. Une fois ces problèmes résolus, la récolte d'énergie thermique obtenue en cinq minutes (le temps d'infusion) avec verre de thé rempli d'eau bouillante suffit au LTC3108 pour charger de manière fiable un condensateur électrolytique de 2200 µF (CSTORE de la **fig. 2**). Et l'électronique de commande peut faire son travail.

Mécanisme de transport

L'énergie récoltée est si limitée que tout composant vorace est exclu : notre minuterie à thé doit être frugale. Je commence par poser le verre à thé sur le convertisseur. Je mets le sachet ou la boule à thé dans la tasse. Je fixe l'étiquette du sachet à la pince qui pend au bout du fil du mécanisme de levage, maintenant en position basse (le sachet est dans l'eau). Si le circuit de levage était alimenté normalement, on pourrait se contenter d'un moteur qui sortirait le sachet de l'eau pour mettre fin à l'infusion. Pas de ça ici : le fil (**fig. 4**) de levage passe sur une potence en demi-cercle. À l'autre bout, ce fil est solidaire d'un petit contrepoids (légèrement plus lourd qu'un sachet de thé trempé). Ainsi, au lieu de consommer

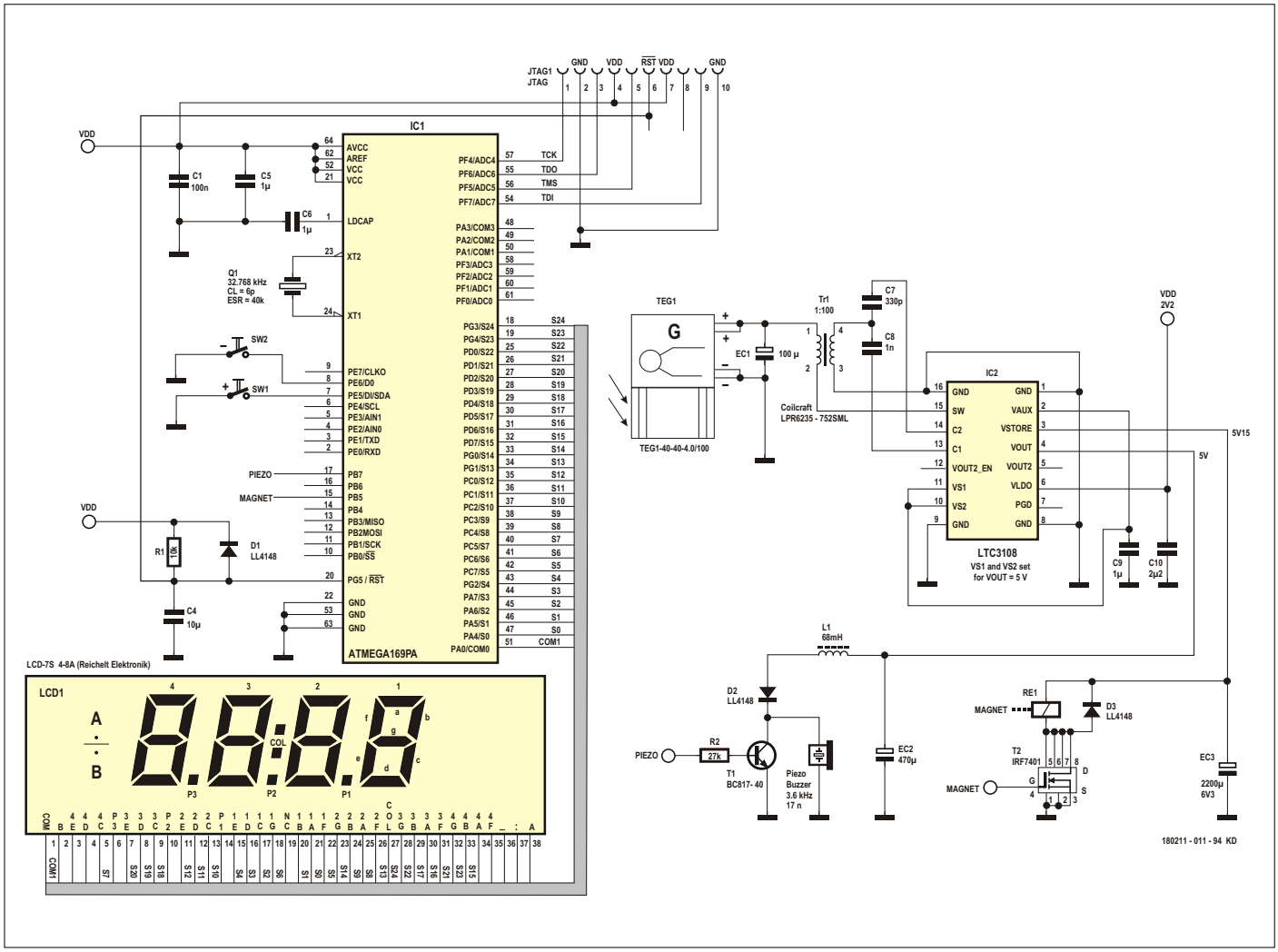


Figure 3. Le schéma de la minuterie d'infusion de thé à convertisseur thermoélectrique.

de l'énergie, nous récoltons aussi l'*énergie gravitationnelle*. Comme le contrepoids est plus lourd que le sachet de thé, il doit être verrouillé par un pêne qui le bloque (dans la position basse du système de levage). De cette manière, il est inutile de fournir un courant soutenu, la commande pour libérer le pêne est électromagnétique et se contente d'une brève impulsion de courant.
Pour réaliser ce dispositif de verrouillage léger, j'ai modifié un relais en fixant le pêne sur le jeu de contacts du relais. Vous pouvez aussi utiliser un solénoïde linéaire. Pour éviter les éclaboussures de thé au moment où le sachet est extrait de l'eau, j'ai dû munir le contrepoids d'un amortisseur en caoutchouc.

Temporisateur et pilote microcontrôlés

Puisque notre mécanisme est si économe, nous pouvons nous permettre le luxe d'une commande de la minuterie à thé par un microcontrôleur ATmega169PA d'*Atmel* [**2**]. Celui-ci dispose d'une commande d'afficheur LCD intégrée, ce qui facilitera le réglage du temps d'infusion. Notez qu'il est plus rentable pour le bilan énergétique d'utiliser la fonction d'affichage matérielle d'un µC que de l'émuler par du logiciel.
Je verse maintenant l'eau bouillante dans le verre à thé afin que le convertisseur délivre un peu d'énergie électrique au circuit de récupération qui à son tour fournira la tension d'alimentation du microcontrôleur. Après environ 30 secondes, le temps d'infusion clignotera sur l'afficheur. La plupart des thés doivent infuser environ 5 minutes. La valeur par défaut est 4'30.
Deux boutons connectés au µC permettent de régler le temps d'infusion souhaité. Si au bout de 12 secondes aucun bouton n'a été actionné par vous, l'afficheur cesse de clignoter et le compte à rebours du temps d'infusion commence au rythme des secondes.
Quelques secondes avant la fin retentit un signal sonore émis par le transducteur piézo : l'infusion est prête. Une fois le temps d'infusion écoulé, le µC envoie une impulsion à la bobine du relais, qui en s'activant libère le pêne de verrouillage : le contrepoids en descendant tire le sachet de thé hors du verre à thé en un mouvement amorti.
Le signal acoustique émis par le transducteur doit être émis un peu avant la fin du temps d'infusion afin de récolter encore un peu d'énergie pour être sûr d'exciter la bobine du relais. Tant que vous négligez ce signal sonore, la minuterie ne désarmera pas et couinera toutes les minutes. Pour la désactiver, il suffit d'appuyer sur un bouton. Ou de prendre en main votre verre bien chaud, l'alimentation électrique tombera alors en panne et la minuterie aussi.

Thé au logis

Je me suis bien amusé en cherchant à réduire à presque rien la consommation de cette énergie si minutieusement récoltée. Ceci passe par l'attention portée à la conception du matériel, mais aussi et surtout à la gestion de l'énergie par le progiciel du µC. Ainsi le microprogramme a-t-il été optimisé de telle sorte que l'intensité du courant requis lors du réglage du temps d'infusion ne fasse pas s'effondrer la tension d'alimentation du microcontrôleur. Voilà l'intérêt d'un tel exercice et j'espère qu'il vous apparaîtra aussi ! Et que cela vous inspirera à votre tour…
Cette minuterie d'infusion de thé pourrait être augmentée d'un module radio *Bluetooth Low Energy* (BLE) qui enverrait un message à un téléphone tactile lorsque le thé est prêt. On pourrait aussi lever le sachet de thé à l'aide d'un moteur pas-à-pas à économie d'énergie.
La photo du prototype n'en a peut-être pas l'air (**fig. 4**), mais cette minuterie d'infusion de thé à convertisseur thermoélectrique est bel et bien, contrairement à des produits commerciaux du même genre dotés d'une commande vieillotte, un appareil high-tech remarquable par l'utilisation de brillantes techniques modernes de récupération d'énergie [**3**]. Un jour, nous serons libérés du changement incessant de piles et de l'esclavage de la recharge quotidienne des batteries de nos appareils. Quand nous saurons nous passer de piles et d'accumulateurs, nous nous passerons aussi des substances chimiques qu'elles renferment. Sauf le nettoyage, cet appareil ne nécessite aucun entretien. Ni aucune tension électrique, ce qui nous fait l'économie de mesures de protection. Parlez à vos amis de cette minuterie d'infusion de thé à convertisseur thermoélectrique, elle est unique !

Figure 4. Prototype fonctionnel de la minuterie d'infusion de thé.

180211-02

Ce projet théologique a été publié dans le magazine Reichelt Elektronik.

Liens et bibliographie

[1] LTC3108 : www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC3108.pdf

[2] Microcontrôleur ATmega169PA : www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega169PA

[3] Vidéo de la minuterie : www.youtube.com/watch?v=z-ias4IwbSQ

[4] Notes de Peltier sur «la caloricité des courans électriques» : https://books.google.fr/books?id=1Jc5AAAAcAAJ&pg=PA371

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Lampe de lecture Peltier (kit 160441-71)

www.elektor.fr/peltier-lamp-1

variateur pour moteur monophasé 1 kW

Trois modes de fonctionnement : commutation de cycle intégral, découpage de phase en début ou en fin de demi-période

Elektor Labs & **Elektor Labs Inde**

Ce variateur économique et facile à construire est conçu pour la commande de moteurs à courant alternatif, d'appareils électroménagers et d'outils électriques portables. Pour bien faire son travail, il utilise un µC pour mieux s'adapter aux charges, selon qu'elles sont inductives ou capacitives. Il supporte des charges jusqu'à 1 kW. Grâce au matériel conçu dans un souci d'adaptabilité, l'interface du circuit de commande du moteur peut être adaptée et améliorée pour répondre à vos besoins personnels.

Quand ils ont un moteur, beaucoup d'appareils électriques domestiques sont alimentés en courant alternatif, généralement sous 230 V, 50 Hz. Les plus récents ont souvent un régulateur de puissance électronique qui commande la vitesse du moteur. Les bons vieux moteurs à courant alternatif monophasés, utilisés p. ex. pour la ventilation, les pompes et les compresseurs, sont bon marché et disponibles facilement.

Considérations de conception

Ce circuit est conçu aussi bien pour des moteurs à courant alternatif (c.a.) ordinaires que pour diverses charges pour lesquelles une régulation est nécessaire ou bénéfique. Il faut donc une interface qui permette à l'utilisateur de choisir la méthode de commande de puissance appropriée pour la charge utilisée. Notre variateur aura à jongler avec des charges aussi variées qu'un éclairage à LED de puissance, un projecteur halogène ou le réchaud électrique de Papy.

La mise en œuvre d'un afficheur OLED associé à un codeur rotatif avec bouton-poussoir permet de créer pour chaque usage un tableau de bord simple, toujours lisible, extensible et intuitif.

Caractéristiques

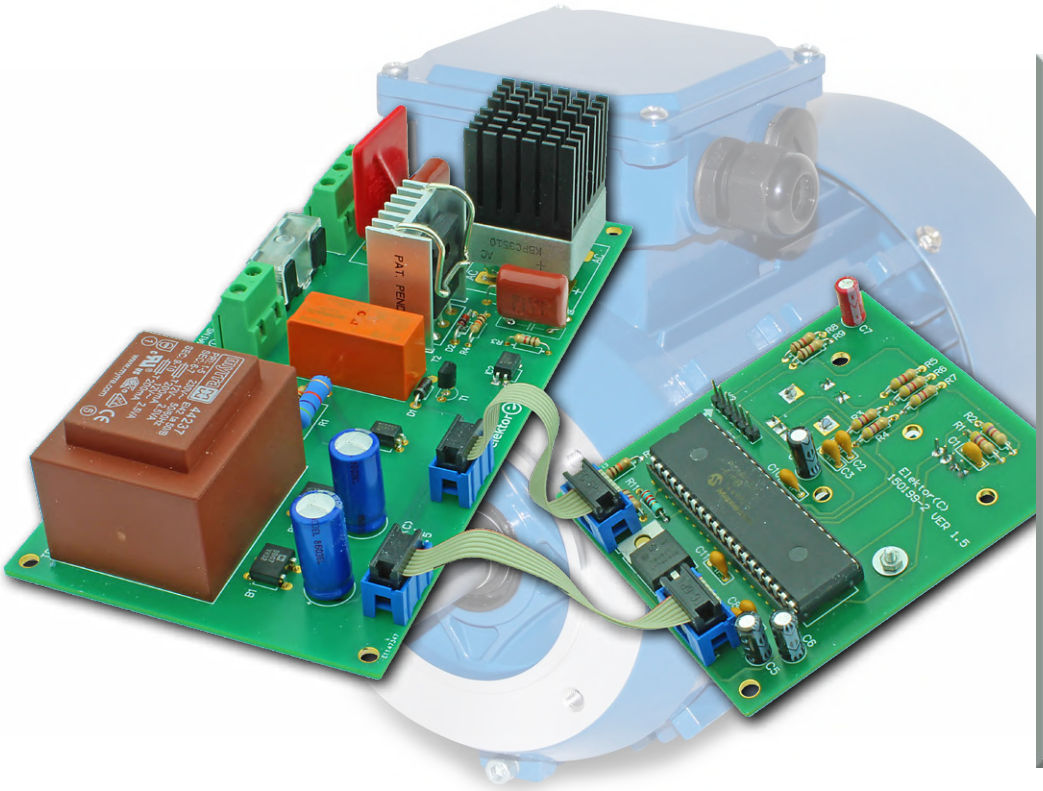
- Sortie monophasée CA : 230 V, max. 1 kW
- Modes de fonctionnement :
  - commutation de cycle intégral
  - découpage de phase en début de cycle
  - découpage de phase en fin de cycle
- Afficheur OLED 2,4 cm / 0,96 pouces (lecture et paramétrage)
- Aucun CMS
- Connecteur à 3 voies pour moteur/charge
- Sens de rotation du moteur commandé par relais
- Circuit de commande interne isolé, avec µC PIC18F45K22
- Commande de marche avant/arrière par codeur rotatif
- Réglage de la puissance de sortie et de la vitesse du moteur par codeur rotatif
- Paramètres moteur/variateur de charge stockés dans l'EEPROM
- Démarrage progressif à partir de zéro en cas de changement de mode ou de sens

Régulation du courant alternatif

Voici quelques méthodes établies pour la régulation de la puissance d'une charge en c.a., un moteur par exemple.

1. Suppression de cycle intégral. Pour cette méthode de conversion directe du courant alternatif, on parle aussi de commande par train d'ondes. La suppression intégrale de cycles consiste à remplacer la tension alternative par une tension nulle pendant la totalité d'une ou plusieurs alternances.

Cela convient pour commander des charges électriques de forte puissance dont la constante du temps de réponse est beaucoup plus longue que la période du courant alternatif d'alimentation de la charge. Par exemple les éléments chauffants d'un réchaud électrique dont l'inertie thermique se mesure facilement en secondes. L'avantage de la commande par saut de cycle est la commutation du courant et de la tension de charge au moment précis où ils sont nuls. Les interférences électromagnétiques occasionnées sont pratiquement nulles et la tension électrique aux bornes de l'interrupteur au moment de la commutation est réduite, ce qui est propice à leur longévité.



INFOS SUR LE PROJET

Moteur à courant alternatif
contrôle de puissance
gradateur PIC

débutant
➡ connaisseur
expert

env. 3 h

outils de laboratoire standard, compilateur CCS Microchip et adaptateur de programmation Pickit (en option)

env. 75 €

La plupart voire tous les types de charges électriques acceptent cette méthode, y compris les charges résistives, inductives (p. .ex. les moteurs) et capacitives. En mode *saut de cycle*, notre variateur supporte des charges jusqu'à 1 kW.

2. Découpage de phase. La régulation de la charge est faite en fonction de l'angle de phase de la tension alternative. Lors du passage par zéro de l'onde alternative, au début de chaque demi-cycle, l'interrupteur électronique qui commande la charge reste ouvert un certain temps, pendant lequel la charge ne reçoit donc aucun courant d'alimentation. Puis une impulsion commande sa fermeture de sorte que la charge est alimentée jusqu'à la fin de la demi-période. Pour réduire la puissance de la charge, on retarde donc plus ou moins la venue de cette impulsion de déclenchement après le début du cycle. Il y a en fait deux sortes de découpage de phase.

2a. Découpage de phase en fin de demi-cycle. Cette méthode dite *trailing-edge* est plus complexe que la méthode classique dite *leading-edge* (découpage de la phase en début de cycle). Elle requiert un dispositif de commutation plus complexe, avec MOSFET ou IGBT au lieu du triac et de la self des gradateurs ordinaires. Le bénéfice est une gradation en douceur, silencieuse et sans parasites. En effet, l'interrupteur du gradateur, au lieu de se fermer brutalement, ce qui cause une irruption du courant dans la charge, s'ouvre en fin de demi-période, ce qui se traduit par une coupure du courant dans la charge. Le découpage de phase en fin de cycle accepte également une charge minimale plus faible (5 W). C'est le meilleur choix pour la gradation de petits luminaires modernes de faible puissance. Il favorise la longévité des ampoules à incandescence et halogènes, car le démarrage progressif épargne aux ampoules à filament le choc thermique de la mise sous tension à froid. Les gradateurs de fin de demi-cycle conviennent bien aux charges capacitives, un gradateur de LED p.ex. qui fonctionnera sans scintiller. Cette méthode de régulation convient aux charges résistives et capacitives, mais pas aux charges inductives, car celles-ci produisent de fortes impulsions de charge électromagnétique de retour, qui peuvent endommager le MOSFET du gradateur. Comme les courants de surtension sont

Choix de la méthode de régulation de puissance selon le type de charge et l'application en courant alternatif

Il est important de choisir le bon variateur/régulateur de puissance pour la charge à commander. La nécessité des deux formes de gradation s'explique par les différences entre les charges. Les régulateurs de puissance AC utilisés pour commander…

- …. les charges résistives et inductives telles que les lampes à incandescence, au néon, à cathode froide et à basse tension (inductives/magnétiques) devraient opérer par découpage de phase en **début de cycle** (LE) ou (FPC).
- …. les transformateurs électroniques avec leurs différentes caractéristiques de commutation doivent opérer par découpage de phase **en fin de cycle** (TE) ou (RPC).
- …. les charges électroniques basse tension telles que les petites alimentations à découpage avec leur entrée capacitive (avec un décalage entre courant et tension) requièrent une commande **en fin de cycle** (TE). Les gradateurs TE ou RPC utilisent des transistors tels que les transistors FET ou IGBT comme commutateurs de puissance au lieu des dispositifs classiques à triac ou thyristors.

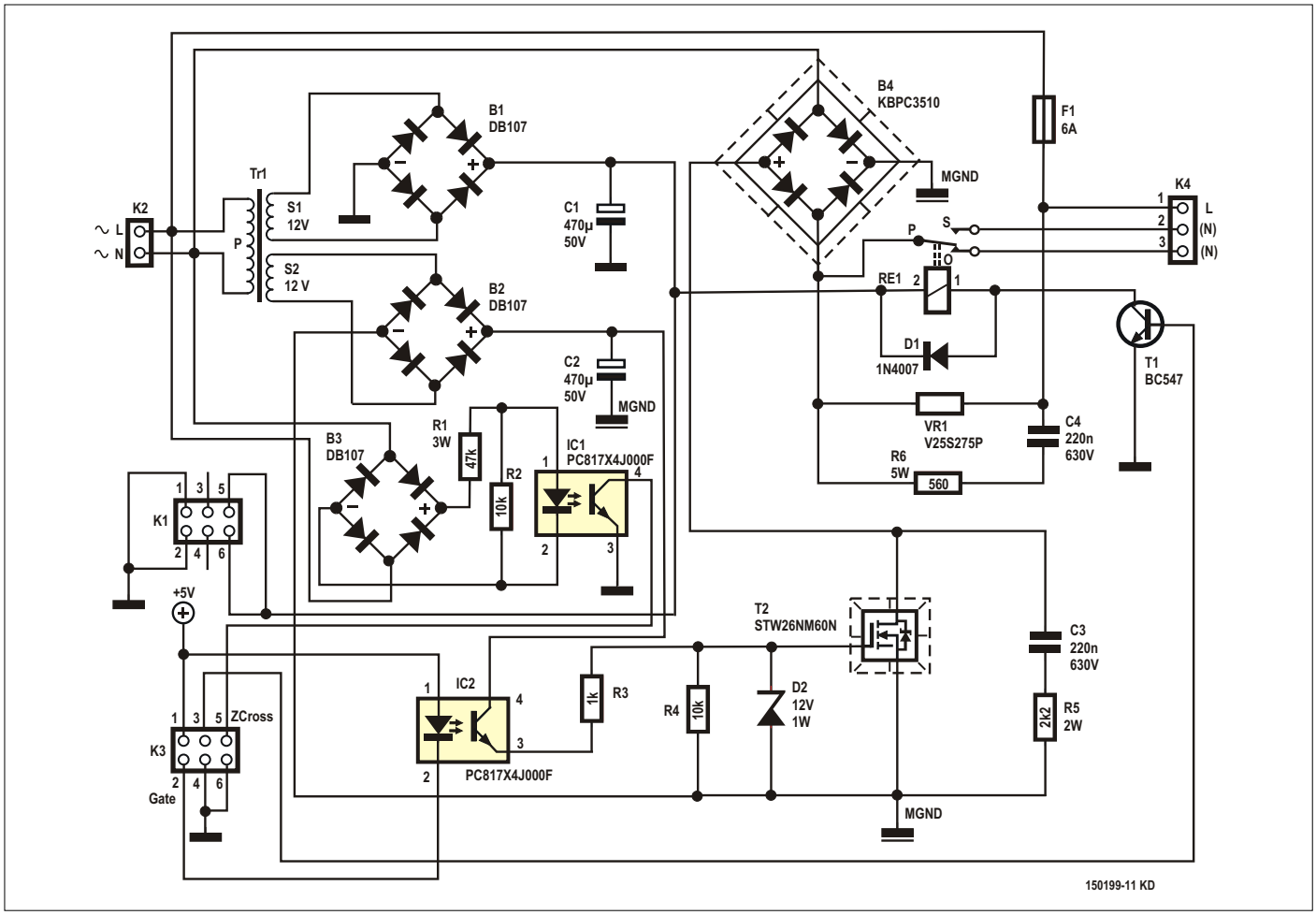


Figure 1. Schéma de la carte de l'électronique de puissance. Notez les deux potentiels de masse : GND avec son symbole habituel et MGND (masse du moteur) marqué différemment. Pour assurer la sécurité électrique, la masse GND et la masse MGND doivent être séparées.

Pourquoi utiliser un gradateur à découpage de phase en fin de cycle ?

Le gradateur ordinaire utilise un triac amorcé à chaque demi-cycle de l'onde sinusoïdale. Ces gradateurs se caractérisent par le flanc ascendant raide quand l'onde est découpée dans la phase qui suit le passage par zéro de l'onde. Plus le triac est amorcé tôt après le passage par zéro de la tension du réseau, plus la charge reçoit de courant alternatif. Plus l'amorçage du triac est retardé après le passage par zéro, moins la charge verra circuler de courant alternatif. La puissance est donc réduite en proportion. Une fois le triac amorcé, il reste conducteur jusqu'à ce que l'intensité du courant qui le traverse passe sous le seuil dit de maintien. Passé ce seuil, le triac ne conduit plus. Comme un triac est bidirectionnel, ceci vaut aussi bien pour les alternances négatives que positives.

Les problèmes causés par les gradateurs à triac utilisés avec des charges électroniques viennent de la rapidité du triac quand il se met à conduire : il se produit une irruption de courant de forte intensité dans la charge, ce qui peut endommager les condensateurs et d'autres composants. Il faut donc éviter les gradateurs à triac avec les lampes électroniques, fluo-compactes (CFL) ou à LED.

Un gradateur à triac ne malmène pas seulement l'électronique de la lampe, mais il perd lui-même sa référence lorsqu'il est utilisé avec une charge électronique.

En revanche, on retiendra qu'avec des charges inductives, comme les transformateurs à noyau en fer ou les moteurs de ventilateur, ces gradateurs à triac peuvent être utilisés.

d'une intensité modérée, notre régulateur peut, dans ce mode, réguler des charges jusqu'à 1 kW.

2b. Découpage de phase en début de demi-cycle : On parle de *leading-edge* (LE) ou *forward-phase control* (FPC) pour ce mode de régulation de puissance qui convient pour les charges résistives et inductives telles que les moteurs, les lampes à incandescence, les néons, les lampes à cathode froide et les lampes basse tension (inductives/magnétiques).

Puisqu'elle se présente comme une charge fortement capacitive (tension déphasée par rapport au courant), une alimentation à découpage à basse tension de sortie est incompatible avec la régulation en début de cycle, mais peut être utilisée avec un gradateur à découpage de phase en fin de cycle. Avec cette méthode, l'intensité des courants d'irruption est très élevée. Dans ce mode, nous avons testé ce gradateur avec des charges jusqu'à 350 W.

Électronique de puissance

Sur le schéma (**fig 1**), Tr1 est un transformateur à double secondaire de 12 V. La tension sur S1 est redressée par le pont B1 (DB107) et sert à établir la tension d'alimentation +5 V du µC. L'autre secondaire alimente le redresseur B2 (un autre DB107) pour la section de commande de puissance, isolée de la section µC par un optocoupleur IC2 (PC817X4J000F). Ceci évitera tout bruit et toute charge excessive du rail d'alimentation du µC. Le signal de commande de grille créé par le µC passe par IC2 afin d'isoler le µC de la section de puissance. Le redresseur B3 et l'optocoupleur IC1 détectent le passage par zéro de la tension du secteur et le signalent au µC. IC1 contribue lui aussi à isoler le µC des potentiels dangereux qui règnent sur ce circuit.

Le régulateur de puissance proprement dit est constitué du MOSFET de puissance T2 (STW26NM60N) et du redresseur de puissance B4 (KBPC3510). Le MOSFET est connecté aux bornes (DC) +VE et –VE de B4, tandis que les bornes AC sont en série avec AC-N (neutre), AC-L (phase) et la charge. Cette configuration astucieuse permet de couper la tension alternative à n'importe quel angle de phase avec un seul MOSFET au lieu de deux (l'un pour le cycle +VE de l'onde alternative et l'autre pour son cycle –VE.

Pour contenir la dissipation de puissance, le MOSFET choisi présente une faible RDS_{on} ; dans le pire des cas, elle est d'environ 3,5 W. Un radiateur ne devient nécessaire que lorsque le gradateur est chargé au maximum avec 1000 W. Le pont B4 doit également être équipé d'un radiateur, car sa dissipation peut atteindre 10 W, toujours avec la charge maximale de 1000 W.

Pour mettre en œuvre la méthode de limitation de puissance en fin de demi-cycle, avantageuse comme expliqué ci-dessus et dans l'encadré **'Sélection de la méthode de régulation de la puissance en courant alternatif selon le type de charge et l'application'**, c'est un MOSFET de puissance qui remplace le traditionnel triac. La résistance R5 et le condensateur C3 forment l'amortisseur du MOSFET T2 et aident à supprimer les pics de tension causés par les inductances du circuit. La résistance R6 et le condensateur C4 ont la même fonction. La varistance à oxyde métallique (MOV) VR1 est utilisée pour éviter les surtensions transitoires. Le bornier K4 est le connecteur de sortie du moteur ou d'un autre type de charge comme indiqué ci-dessus.

Le relais RE1 est commandé par le µC à travers le transistor T1, pour inverser le sens du moteur en sélectionnant différents enroulements à l'aide du connecteur K4. Le fusible F1 à retardement ('T') protège le circuit de commande contre un courant de charge excessif.

Carte à microcontrôleur

Sur la **fig. 2**, le microcontrôleur programmé IC2 PIC18F45K22-E/P gère la commande de la puissance de sortie c.a. en envoyant les signaux appropriés à IC2 sur la carte de régulation de puissance. Le connecteur K2 permet de programmer le µC en mode ISCP. Par le connecteur K1 arrive la tension d'alimentation que le régulateur IC1 ramène à +5 V. K3 transmet les signaux entre la carte µC et l'alimentation.

Le µC produit les signaux d'affichage pour l'afficheur OLED1 de 2,4 cm de diagonale ainsi que les signaux d'interface pour ENC1. L'afficheur OLED communique par I²C. Il donne sous forme de barre la puissance de sortie du variateur, le sens de rotation, ainsi que les trois modes de fonctionnement.

C'est l'heure du logiciel !

Le logiciel du PIC18F45K22 a été écrit avec le compilateur CCS gratuit de Microchip [**1**]. La fréquence interne est de 64 MHz,

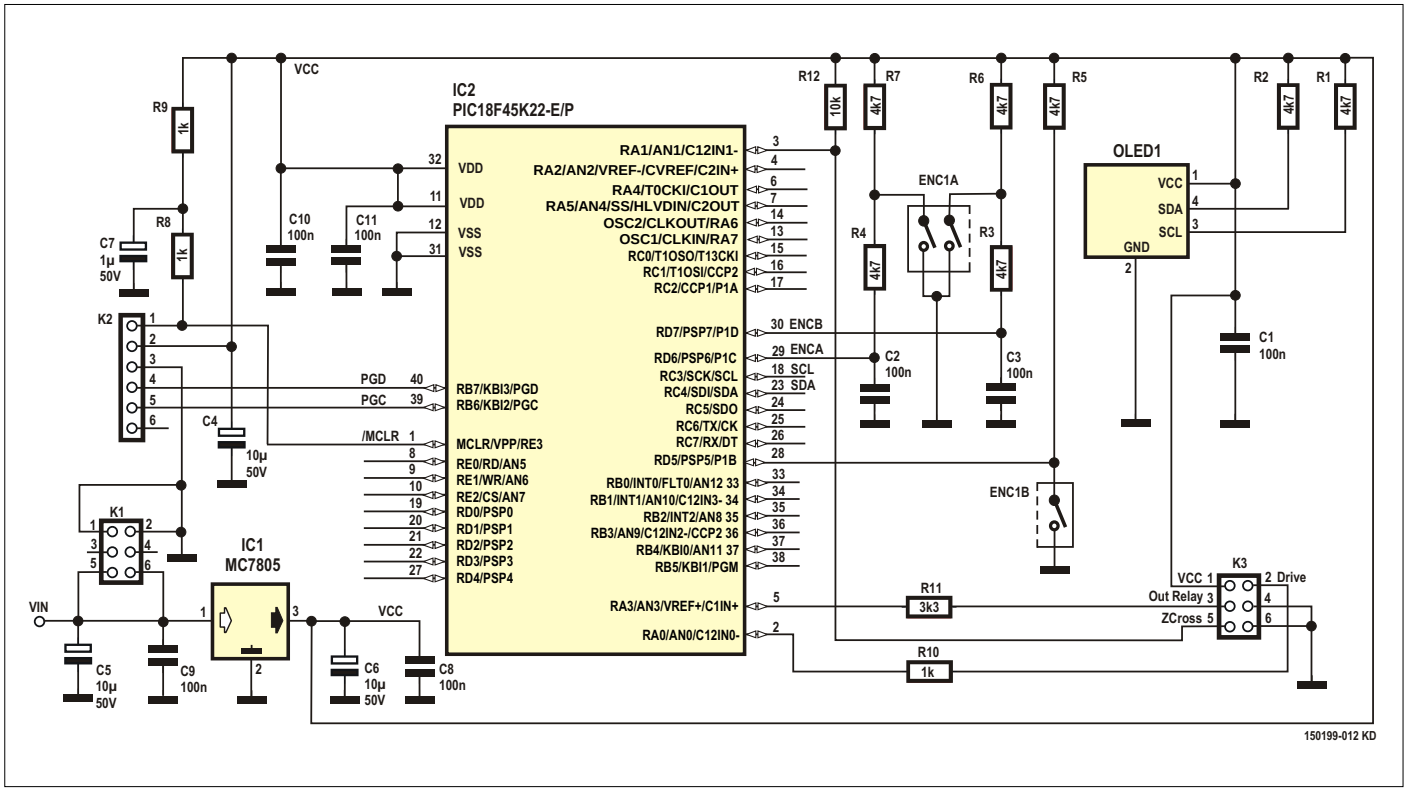


Figure 2. Schéma de la carte d'interface µC/utilisateur, avec le microcontrôleur PIC, le codeur rotatif et l'afficheur OLED.

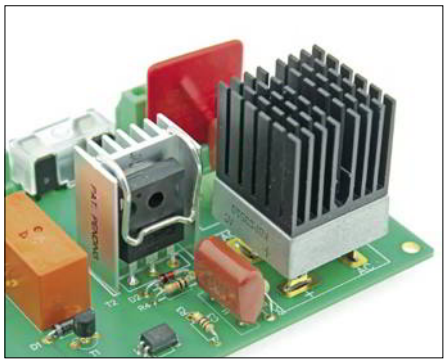


Figure 3. Le redresseur B4 est refroidi par un radiateur collé dessus (coussin thermique collant). Le MOSFET T2 est également refroidi par un radiateur spécial fixé. On aperçoit l'isolateur en céramique.

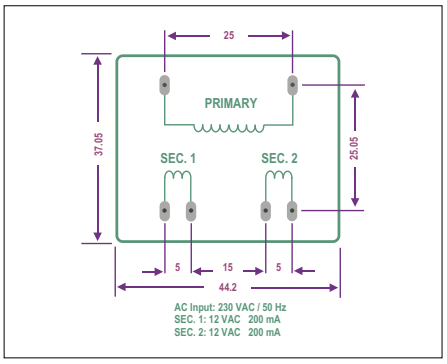


Figure 4. Brochage et disposition mécanique du transformateur d'isolement Myrra 44237.

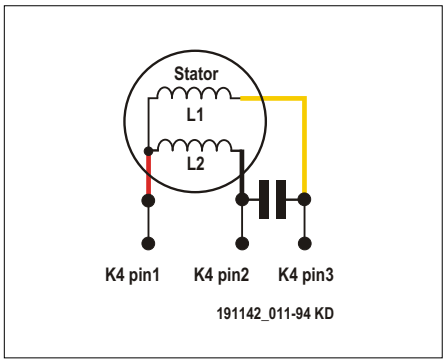


Figure 5. Connexions typiques d'un moteur à courant alternatif sur K4. Repérez soigneusement les fils de l'enroulement principal, l'enroulement de démarrage et du condensateur déphaseur.

l'horloge centrale est donc à 16 MHz.
À la mise sous tension apparaît un message de démarrage suivi des paramètres et réglages du système.
Grâce à la détection du passage par zéro de l'onde sinusoïdale, le MOSFET peut être activé ou désactivé à des intervalles précis en fonction du mode de commande de puissance sélectionné.
La largeur de l'impulsion nécessaire pour la gradation par découpage de phase est obtenue à l'aide de `timer0`. En mode de découpage en fin de cycle, `timer0` déclenche une interruption à la fin du cycle, et au début du cycle dans l'autre mode.
Ensuite, en fonction de la puissance en courant alternatif souhaitée par l'utilisateur, le µC commande le MOSFET en conséquence et fournit de l'énergie à la charge, en progressant *en douceur* de zéro jusqu'à la puissance réglée. L'opération est similaire pour obtenir une variation de puissance progressive quand l'utilisateur modifie le niveau de puissance de consigne tandis que le moteur est déjà en marche. Il faut éviter les saccades qui endommageraient le moteur.
L'interface utilisateur est simple. Elle lui permet de régler la puissance et le sens de rotation du moteur, et de choisir le mode de régulation en courant alternatif. En tournant le bouton, vous faites varier la puissance de sortie entre '0' et '100'. Une pression longue sur l'axe du codeur sélectionne la méthode de commande. Une courte pression inverse le sens du moteur.

Remarque importante : Avec des charges inductives telles que transformateurs ou moteurs à noyau en fer, ne jamais tenter la régulation de puissance par découpage en fin de cycle. Cela engendre de très fortes pointes de courant et de tension susceptibles d'endommager ou de détruire le gradateur, la charge ou les deux.
Pour votre sécurité, le logiciel affiche un message d'avertissement quand ce mode (*trailing-edge*) est activé.
L'inversion du sens de rotation du moteur entraîne d'abord une réduction totale de la puissance de sortie, car le moteur doit d'abord être arrêté, au risque d'endommager l'enroulement du moteur, le variateur, voire les deux.
Quand vous choisissez le mode *trailing-edge*, un message d'avertissement est affiché pendant 10 secondes. Si vous souhaitez rester dans ce mode, il faut appuyer sur un bouton, sinon l'appareil repasse de lui-même en mode de découpage en début de cycle.

Construction

Les potentiels dangereux qui règnent sur certaines parties de ce circuit expliquent sa division en deux cartes à monter impérativement dans un boîtier en plastique, l'électronique de puissance (150199-1) et la carte µC (150199-2).
Les cartes sont certes interconnectées, mais suffisamment bien isolées électriquement pour répondre aux normes de sécurité électrique. Le boîtier en plastique dur du gradateur est fermé et ne comporte que des connecteurs d'entrée et de sortie de type IEC.
Nous enjoignons les débutants en électronique à ne pas se lancer dans ce projet sans l'aide ou la supervision d'un électronicien confirmé et familier avec les règles d'installation sous 230 V et informé de tous les dangers liés à ces potentiels mortels.

Électronique de puissance

Examinez les photos de la carte, la liste des composants et leur implantation. La carte **simple-face** est spacieuse, **et tous les composants sont traversants**. Commencez par souder les composants les moins encombrants (résistances, diodes). Laissez un peu d'espace entre la carte et R1, R5 et R6 (environ 2 mm), car ces résistances chauffent. La silhouette marquée 'HS1' est celle du radiateur du MOSFET T2. Un isolateur en céramique ou en mica épais doit être utilisé entre le radiateur et la surface métallique à l'arrière du MOSFET. Quant au radiateur HS2, il faut le coller sur B4 (**fig. 3**).
Le transfo d'isolement Tr1 est crucial pour la sécurité électrique du projet et ne doit jamais être remplacé par un autre transfo monté en dehors de la carte. Il s'agit d'un petit modèle de puissance entièrement encapsulé de type 44237 de la marque Myrra avec 2 × 12 V, 2 × 2,5 VA au secondaire et un **seul primaire 230 V 50/60 Hz**. La **figure 4** montre l'empreinte et le brochage du transformateur Myrra.
La ligne L et les fils du moteur se connectent sur de robustes borniers à vis pour circuit imprimé (K2 & K4). Pour votre bien-être et pour continuer de savourer encore longtemps les projets d'Elektor, ne trichez pas en soudant des fils à la carte. Utilisez les borniers à vis recommandés. Le support du fusible F1 doit être muni d'un capot en plastique qui recouvre intégralement et le fusible et les bornes.

Carte du microcontrôleur

Ici aussi, tous les composants sont traversants, y compris le µC ! Prévoyez un support classique à 40 broches. Montez

l'afficheur OLED à 4 broches (spécifié par Elektor et pas un autre qui lui ressemblerait, mais n'aura peut-être pas le bon brochage) **au verso de la carte à l'**aide d'un connecteur SIL à 4 broches dont les broches longues sont insérées dans les trous du côté de l'afficheur. Les broches courtes passent dans les trous de la carte de l'afficheur et sont également soudées. Montez également le codeur rotatif au verso de la carte. Fixez l'écran OLED à la carte µC à l'aide de quatre petites vis dans les coins de la carte et utilisez des écrous comme entretoises.

Sécurité d'abord !

Les cartes terminées et interconnectées doivent être montées dans un boîtier totalement isolé et transparent qui empêche tout contact avec une partie du circuit, à l'exception bien sûr de l'axe du codeur rotatif. Le connecteur du cordon d'alimentation est de préférence une prise mâle IEC sur châssis. Le connecteur Motor OUT est une prise femelle IEC. Pour l'un et l'autre, il faut un orifice dans le boîtier. Ne fabriquez jamais ces connecteurs vous-même et ne vous contentez pas de solutions bricolées. Ces composants sont très bon marché et offrent la sécurité indispensable. Utilisez des cordons d'alimentation homologués pour alimenter l'appareil et fournir la puissance de sortie au moteur ou à une autre charge.

La carte de commande du moteur et la carte µC doivent être immobilisées, isolées électriquement à l'intérieur du boîtier en plastique. Notre prototype utilise des entretoises en nylon avec filetage intérieur à une extrémité. Elles garantissent l'isolation même fixées par des vis métalliques à l'extérieur.

LISTE DES COMPOSANTS

Carte de l'électronique de puissance 150199-1

Résistances

R1 = 47 kΩ 5 %, 3 W
R2,R4 = 10 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V
R3 = 1 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V
R5 = 2,2 kΩ 5 %, 2 W
R6 = 560 Ω 5 %, 5 W

Condensateurs

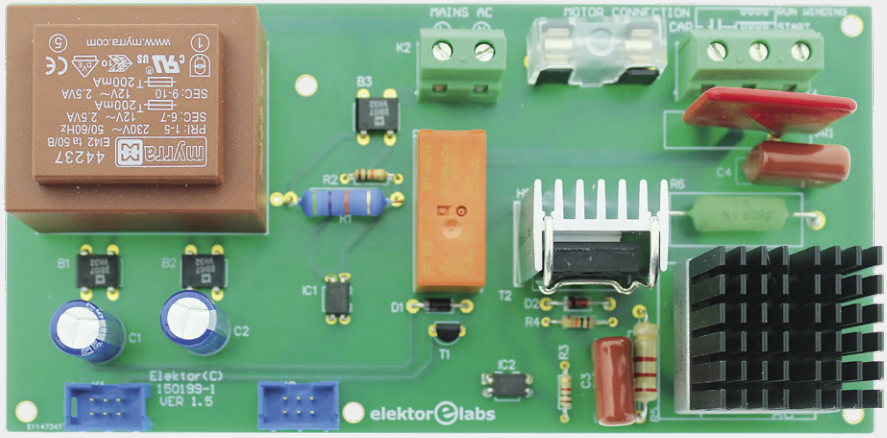
C1,C2 = 470 µF, 50 V
C3,C4 = 0,22 µF, 630 VDC, MPET

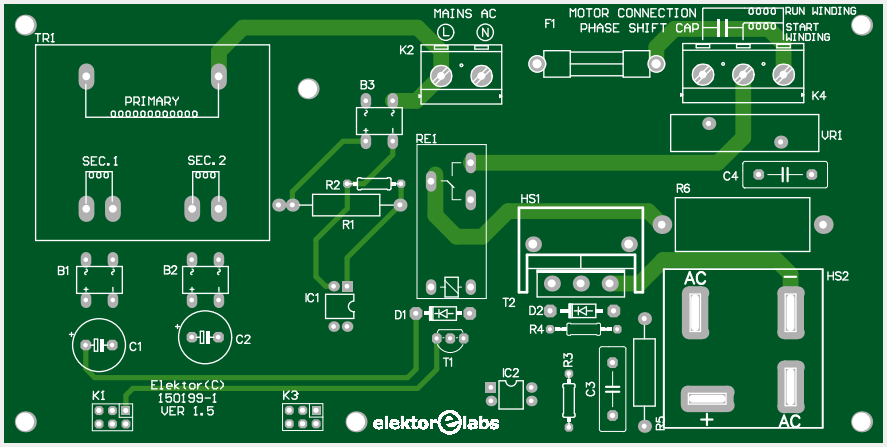
Semi-conducteurs

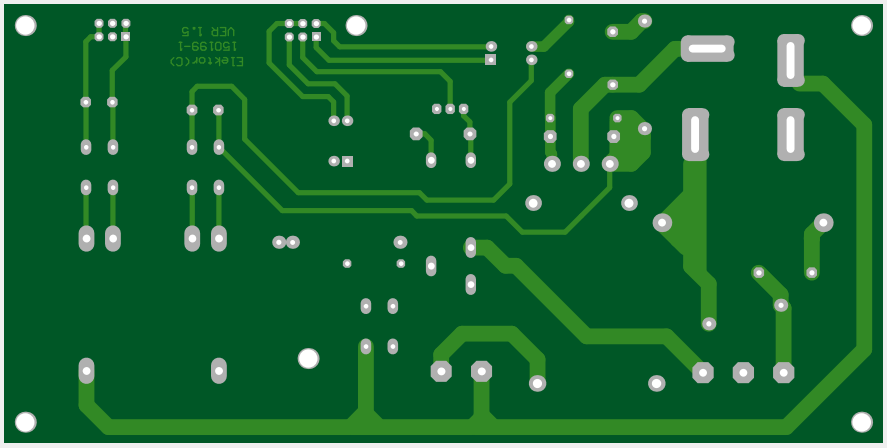
B1,B2,B3 = redresseur DB107, 1000 V, 1 A
B4 = redresseur KBPC3510, 1 kV, 35 A
D1 = 1N4007-T
D2 = 1N4742A, 12 V, 1 W zener
IC1,IC2 = optocoupleur PC817X3NSZ1B
T1 = BC547B
T2 = STW26NM60N, 20 A, 600 V, MOSFET canal N

Divers

K1,K3 = connecteur à 6 voies (2x3)
K2 = bornier à vis pour C.I. à 2 voies, pas 0,3" (7,62 mm)
K4 = bornier à vis pour C.I. à 3 voies, pas 0,3" (7,62 mm)
HS1 = radiateur TO-247 type WV-T247-101E
HS2 = radiateur type 658-60ABT1E (avec adhésif)
F1 = 6 A (T) retardé, 5x20 mm
porte-fusible pour montage sur circuit imprimé, 5x20 mm, avec capot
RE1 = G2R-14-DC12 (Omron)
TR1 = transfo d'isolement, 2 x 12 V, 200 mA, 230 V primaire, type Myrra 44327, Farnell # 1214601
VR1 = varistor V25S275P, 275 VAC 470J, 700 V clamp, pas 25 mm
Circuit imprimé 150199-1 v.1.5 dans l'e-choppe www.elektor.fr







70% de la taille réelle

LISTE DES COMPOSANTS

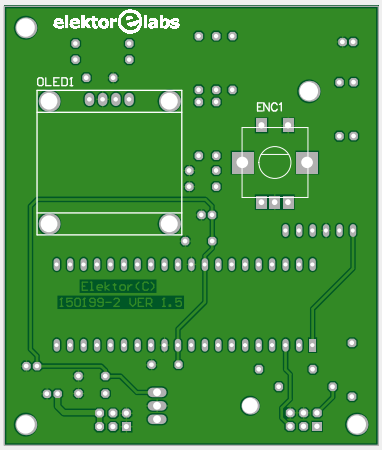
Carte µC 150199-2

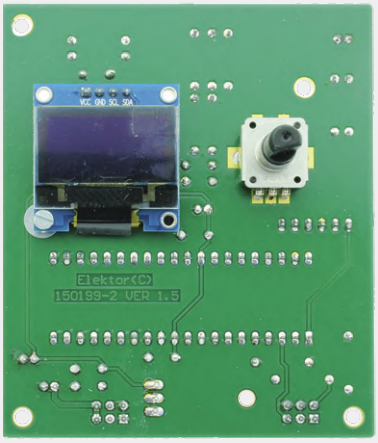
Résistances
R1 à R7 = 4,7 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V
R8,R9,R10 = 1 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V
R11 = 3,3 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V
R12 = 10 kΩ 5 %, 250 mW, 250 V

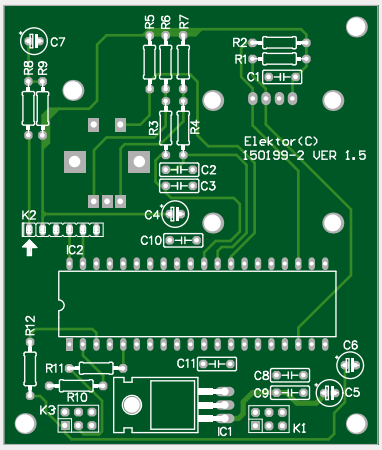
Condensateurs
C1,C2,C3,C8 à C11 = 0,1 µF, 50 V
C4,C5,C6 = 10 µF 50 V, électrolytique
C7 = 1 µF 50 V, électrolytique

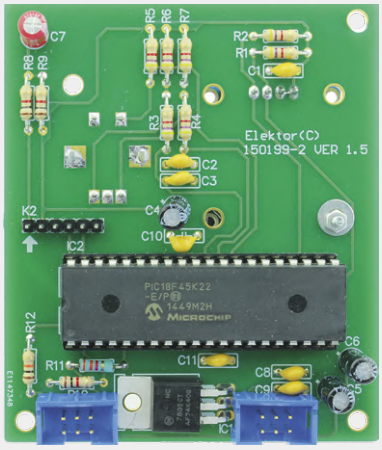
Semi-conducteurs
IC1 = MC7805CTG
IC2 = PIC18F45K22-E/P programmé 150199-41

Divers
K1,K3 = connecteur 6 voies (2x3)
K2 = SIL à 6 voies, pas de 2,54 mm
LCD1= afficheur OLED 2,4 cm 0,96", I²C, de l'e-choppe d'Elektor, SKU 18747
ENC1 = capteur rotatif avec bouton-poussoir, Alpes EC12E242424407
support de circuit intégré DIP 40 broches, pas de 2,54 mm
câble en nappe 6 brins et 4 connecteurs IDC pour les interconnexions de cartes K1,K3
circuit imprimé 150199-2 v1.5









70% de la taille réelle

Inspectez soigneusement toute votre construction et n'hésitez pas à demander le conseil d'un expert.

Tests

Hors de son boîtier et sans le câblage interne vers l'entrée et la sortie, l'électronique ne doit être testée que par un électronicien expérimenté, équipé d'un transformateur homologué et entièrement isolé. Pour mettre le circuit à l'épreuve, il est recommandé d'utiliser une charge de qualité, p. ex. un moteur CA monophasé 230 V de 200 à 500 W. Tout le câblage de sécurité à destination et en provenance du circuit de commande du moteur doit être homologué. Votre établi doit être dégagé. Si l'une des étapes ci-dessous donne des résultats incertains, ne continuez pas.

- Interconnectez les cartes avec les deux câbles plats IDC à 6 brins (**fig. 6**).
- S'il est déjà implanté, retirez le µC IC2 de son support.
- Raccordez l'alimentation 230 V (isolée) de manière à ce que cette tension atteigne le connecteur K2 de la carte de puissance.
- Sur la carte µC, vérifiez la tension d'alimentation sur la broche 1 d'IC1 (entrée 7805), elle doit indiquer 14 à 16 V_{CC}. La broche 3 (sortie 7805) doit indiquer 5 V_{CC}.
- Sur la carte de puissance, vérifiez la tension sur les broches + et — du redresseur B2 ; elle doit indiquer 14 à 16 V_{CC}.
- Débranchez l'alimentation 230 V isolée et implantez lePIC IC2 sur la carte µC.
- Sautez cette étape si vous utilisez le µC préprogrammé 150199-41 fourni par Elektor. Sinon, programmez le PIC avec le fichier hexadécimal [**1**] en utilisant un programmateur PIC comme le PICKIT3. L'alimentation doit être sous tension pour que l'appareil puisse être programmé. Couper l'alimentation 230 V isolée, retirez le connecteur ICSP du programmateur de la carte µC.

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ **Variateur pour moteur monophasé 1 kW, carte de puissance v.1.5**
www.elektor.fr/150199-1

→ **Variateur pour moteur monophasé 1 kW, carte µC v.1.5**
www.elektor.fr/150199-2

→ **Variateur pour moteur monophasé 1 kW, PIC18F45K22-E/P programmé**
www.elektor.fr/150199-41

→ **afficheur OLED 128x64 0,96 pouces, I²C, 4 broches**
www.elektor.fr/blue-0-96-oled-display-i2c-4-pin

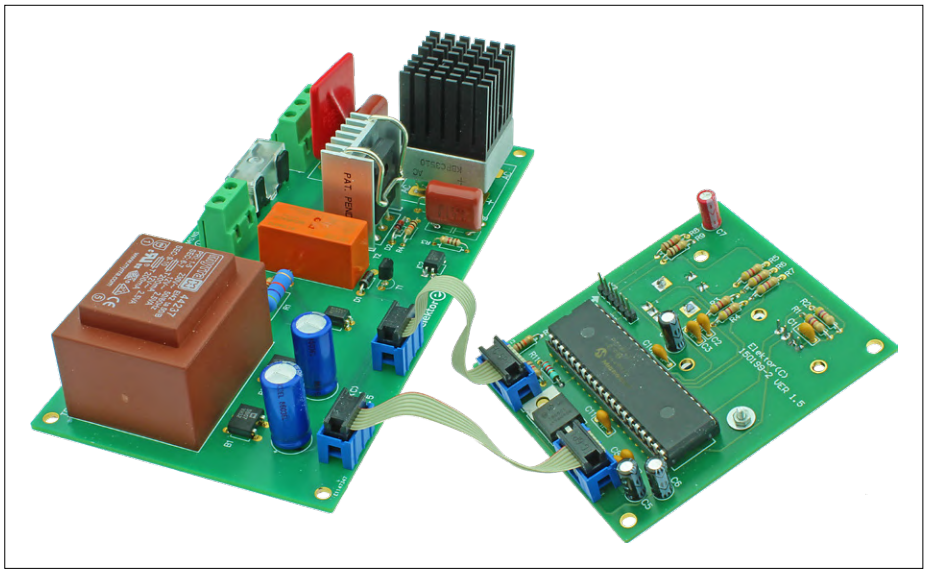


Figure 6. La carte µC et la carte électronique de puissance connectées par deux câbles plats à 6 brins.

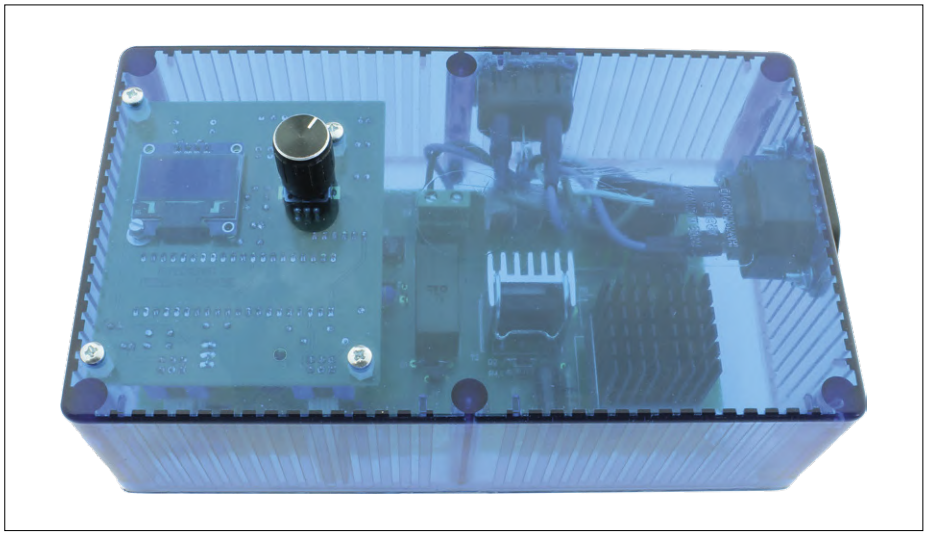


Figure 7. Testé, approuvé et bien protégé dans son boîtier bleu transparent : le variateur 1 kW à 3 modes de gradation.

Lien

[1] La page de ce projet : www.elektormagazine.com/191142-01

- Connectez le moteur à courant alternatif à K4 comme indiqué sur la **fig 5**.
- Raccordez l'alimentation 230 V isolée ; l'OLED affichera le message de bienvenue et offrira le premier mode de fonctionnement : soit «Int» pour la régulation par train d'ondes. La puissance du moteur doit être de 0 %. Le sens du moteur est indiqué dans le coin supérieur droit de l'afficheur.
- Si le moteur tourne à vide ou hors de son support normal, des précautions doivent être prises en cas de secousses, de chocs mécaniques ou de vibrations.
- Tournez le codeur pour faire varier la puissance du moteur jusqu'à 100 %. Une courte pression sur l'axe du codeur rotatif devrait avoir pour effet l'inversion du sens de rotation du moteur à 0 % de la puissance à chaque fois.
- Débranchez le moteur.
- Parcourez les modes de gradation disponibles en appuyant longuement sur l'axe du codeur rotatif : les modes défilent en boucle [Int.— Lead — Trail.].

Tout va bien ? Bravo !
Remontez les cartes et rebranchez tous les câbles dans le boîtier cette fois, puis fermez-le (**fig. 7**). ◀

191142-02

afficheur tactile 3,5 pouces rapide pour Raspberry Pi

Parfait pour la vidéo, mais pas cher !

Mathias Claussen (Elektor Labs)

L'afficheur tactile LCD Waveshare de 3,5 pouces n'est pas seulement bon marché, il est aussi rapide. Avec ses cinquante images par seconde, il se substitue avantageusement aux petits écrans existants pour le Raspberry Pi.
Il est idéal exactement là où d'autres écrans de cette classe de prix nous frustrent par leur rafraîchissement trop lent.

Waveshare a mis à jour sa gamme de produits et propose pour le Raspberry Pi un nouvel afficheur de 3,5 pouces, soit presque 9 cm de diagonale.
La plupart des afficheurs RPi bon marché sont connectés en série par SPI. La fréquence d'horloge maximale est alors de 20 MHz et parfois de 26 MHz pour l'écriture des données. Ceci limite considérablement la fréquence de mise à jour de l'image.

Fulgurant

Pour afficher une image complète, il faut 480*320 pixels à raison de 16 bits de couleur par pixel. Soit un total de 307,2 Ko à transférer pour renouveler l'image complète. Sans oublier quelques octets de ballast à chaque transfert. Si les conditions sont idéales, cela représente un temps de transfert de 125 ms à une vitesse d'horloge SPI de 20 MHz, soit tout au plus huit images par seconde en cas de renouvellement continu. C'est trop lent pour une vidéo. Même pour le fonctionnement de certains programmes, cette lenteur perturberait la synchronisation des clics de l'utilisateur, par exemple dans des jeux qui nécessitent une réaction rapide, ou par la visée avec une caméra vidéo, pour ne donner que ces deux exemples.
Si vous avez l'usage d'un afficheur plus rapide, facile à brancher sur un RPi, le nouvel écran 3,5 pouces de *Waveshare* est ce qu'il vous faut. Il offre les 480*320 pixels habituels avec un codage des couleurs sur 16 bits et une fréquence d'horloge SPI de rien moins que 125 MHz ! Les 302,7 Ko par image peuvent donc être transmis 50 fois par seconde. L'image ainsi obtenue est fluide, parfaite pour la vidéo, les jeux ou un navigateur.

Différent

À première vue, ce nouvel afficheur pour RPi (**fig. 1**) ressemble aux modèles d'autres fabricants, mais un coup d'œil sur l'électronique (**fig. 2**) révèle des différences : il n'y a que deux circuits intégrés, un régulateur de tension et quelques condensa-

Figure 1. Apparemment, le nouvel écran *Waveshare* ne diffère guère des écrans de la compétition.

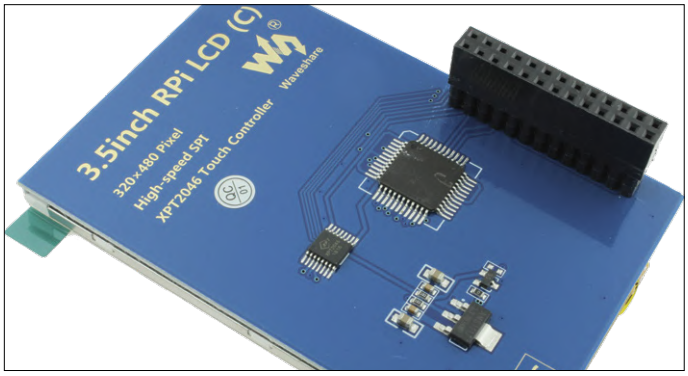


Figure 2. Arrière de l'écran *Waveshare*, avec seulement deux circuits intégrés, un régulateur de tension et quelques condensateurs.

Liens

[1] Pilote d'affichage : www.waveshare.com/w/upload/1/1c/LCD-show-181201.tar.gz

[2] Film « Big Buck Bunny » : http://bbb3d.renderfarming.net/download.html

[3] Big Buck Bunny & Doom sur l'écran Waveshare : www.elektormagazine.de/190271-01

teurs. Normalement, vous trouveriez là un registre à décalage (74HC4094), un compteur (74HC4040) et un sextuple inverseur (74HC04) (**fig. 3**) pour former un convertisseur SPI/parallèle. Ces circuits intégrés ont donc été remplacés par une puce dont la référence a été grattée. C'est sans doute cette puce mystérieuse qui rend possible la fréquence d'horloge SPI de 125 MHz. Si je n'avais rien d'autre à faire, j'aurais bien connecté un analyseur logique pour examiner les signaux, mais j'y renonce car c'est un banc d'essai que je fais ici, pas de la rétro-ingénierie !

On s'installe

Assez de détails techniques – passons à la pratique : branchez d'abord l'écran sur le RPi puis connectez clavier, souris et moniteur. On commence l'installation avec un Raspbian et ses mises à jour et le dernier progiciel disponible (*firmware*) pour l'afficheur. Le pilote se trouve sur le site de *Waveshare* **[1]**. Les utilisateurs familiers de la ligne de commande pourront obtenir le fichier avec `wget` sur le RPi ou lancer un téléchargement avec un navigateur. Le fichier téléchargé devra être décompressé. Pour cela il faut rendre l'installateur (un script `shell` pour l'affichage) exécutable. La façon la plus simple d'y parvenir est d'utiliser l'interface graphique en décompressant le contenu de l'archive dans le répertoire `home` et en rendant exécutable le fichier `LCD35C-y`. L'exécution de l'installateur configurera tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement de l'écran, notamment pour la lecture de vidéos.

L'installation requiert un accès Internet pour télécharger quelques paquets et outils. Le pilote est installé avec le terminal. Passez ensuite dans le dossier du pilote que vous venez de décompresser. Là vous rendez l'installateur exécutable avec la commande `chmod 777 LCD35C-show` puis vous l'exécutez avec `sudo ./LCD35C-show`. Une fois le script d'installation exécuté, redémarrez le RPi.

Et on teste

Si tout s'est déroulé comme prévu, la sortie graphique devrait démarrer peu après le démarrage et le bureau devrait s'afficher.

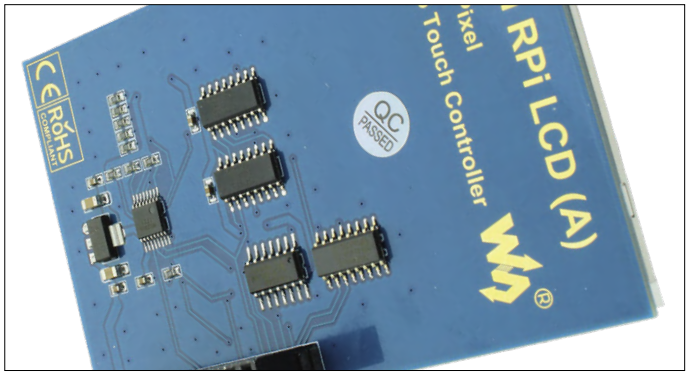


Figure 3. Voici à quoi ressemble habituellement l'arrière des écrans pour RPi.

Pour tester l'affichage, j'ai utilisé la vidéo *Big Buck Bunny* **[2]** (1080 pix avec 30 img/s) lue en FullHD (1920*1080 pix) à 30 ips avec *OMXPlayer*. J'ai préparé pour vous une vidéo de ce test **[3]**. Elle montre la lecture parfaitement fluide de la vidéo. Une partie de DOOM ne pose pas non plus le moindre problème. Ce qui reste problématique en revanche avec la connexion SPI, ce sont les logiciels *OpenGL* tels que *SuperTuxKart* ou d'autres applications qui font appel à l'accélération 3D. Si la superposition (*overlay*) pour le pilote `vc4-KMS-overlay.dtb` est spécifiée dans `/boot/config.txt`, la sortie est forcée automatiquement sur HDMI.

La version rapide de *Waveshare* est-elle plus chère que les autres modèles ? Non, elle n'est pas plus chère. Cependant, l'avantage de cette vitesse élevée est légèrement terni par une luminosité moindre ainsi que par une légère diminution de l'angle de vision par rapport aux écrans concurrents (toutefois moins rapides). Si l'écran doit être utilisé dans un environnement très lumineux, il vaut mieux en être informé avant.

Dressons le bilan

À ce prix, il n'y a **presque** pas de raison d'utiliser un autre afficheur plus lent que celui de *Waveshare* qui affiche ses 50 images par seconde. Ce *presque* se réfère à l'utilisation dans des conditions d'éclairage difficiles, parce que, sur ce point précis, on peut trouver mieux.

Chez Elektor, nous recommandons le nouvel écran *Waveshare* de 3,5 pouces chaque fois qu'un afficheur doit être monté en sandwich compact avec un RPi. Si vos applications s'appuient sur *OpenGL*, vous éviterez les mauvaises surprises en cherchant votre bonheur ailleurs, par exemple avec l'écran tactile de 5 pouces de *JOY-iT*. À part cela, pourquoi se priver d'un écran de 3,5 pouces rapide si ce luxe vous est donné sans supplément de prix ? ◀

(190271-02 VF)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Écran tactile Waveshare 3,5 pouces pour Raspberry Pi
www.elektor.fr/18936

→ Écran tactile JOY-iT 5 pouces pour Raspberry Pi
www.elektor.fr/18146

ce **labo-ci** n'est pas ce **labo-là**

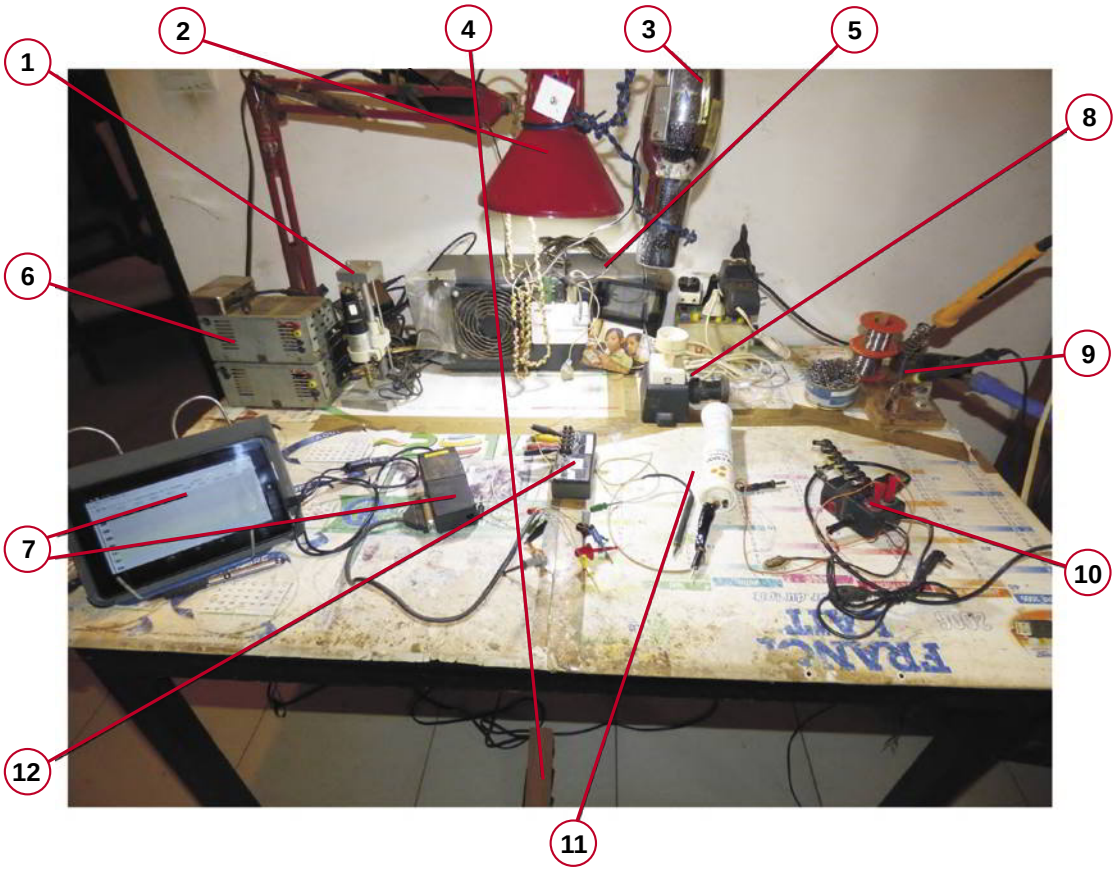
« montre-moi ton labo, je te dirai qui tu es ! »

Eric Bogers

L'été dernier, sur la page Labs de son site, Elektor vous proposait un concours de photos. Le sujet à illustrer (sans contrainte) était : mon labo à moi. Parmi les nombreuses contributions reçues, il y a beaucoup d'images intéressantes dont il serait dommage de ne pas faire profiter la communauté. En voici une sélection.

Pour l'amateur d'électronique, le fait de vivre en Europe a été longtemps quasi paradisiaque, car il y avait des magasins de composants partout. Ce n'est plus vrai aujourd'hui, et pourtant il n'a jamais été aussi facile de se procurer des composants. Grâce à l'internet qui a diversifié nos modes d'approvisionnement.
À tel point que les alignements de petits tiroirs remplis de composants ne sont plus forcément de rigueur dans l'atelier de l'électronicien. Depuis l'explosion de la vente par correspondance, nous avons à portée de clic tout ce dont nous avons besoin, très rapidement et souvent pour pas cher.
Ce n'est pas cas d'André Aguila, qui lui vit et travaille à Ouagadougou au Burkina Faso (Afrique), où il est plus difficile de s'approvisionner. Il existe bien des services de vente par correspondance, mais c'est cher et cela demande beaucoup de patience. À propos de ces photos, André nous écrit en substance : « L'électronique a été un loisir d'étudiant ; je n'ai plus pratiqué ensuite, pour ne reprendre qu'il y a quelques années. Comme le montrent mes photos, j'ai beaucoup fait moi-même. Dans le boîtier d'un lecteur de disquettes (5 pouces ¼), je suis en train de monter mon propre four à refusion, chauffé par deux lampes halogènes. »
Chez Elektor, nous sommes impatients d'apprendre ce que ce projet finira par donner…
Elektor a publié deux articles signés André Aguila [3].

1 et 2 : La mini perceuse et la lampe datent de mes débuts ; le collier de coquillages m'a été offert par un camarade étudiant Tahitien.



3 : Ceci n'est pas (plus) un sèche-cheveux mais un extracteur de fumées. Le flux d'air est inversé, bien sûr, avec un filtre à charbon sur le dos.
4 : Ceci n'est pas une pédale, mais la commande de l'extracteur.
5 : Ceci n'est pas un onduleur, mais un transformateur d'isolation fait de deux transfos 220/110 reliés par leurs enroulements 110 V ; un seul est un "vrai" transformateur d'isolement.
6 : Ceci ne sont plus des alimentations de lecteurs de disquettes 5 pouces ¼
7 : Tablette PC bon marché avec USB direct (*on-the-go*), et analyseur logique (8 canaux à 24 MHz ou 16 canaux à 12 MHz).
8 : Ampoule en série sous 220 V, pour protéger le circuit connecté en cas de court-circuit.
9 : Support de fers à souder de fabrication artisanale.
10 : Simple multi-adaptateur de test, décrit sur ma page Elektor Labs [1].
11 : Un de mes premiers instruments de mesure : testeur de continuité (probablement d'Elektor).
12 : Un simple testeur de transistors Elektor Go/NoGo [2].
13 : Oscilloscope USB bon marché, connecté à une tablette bon marché et alimenté par une batterie. Le logiciel Android n'était pas gratuit, mais il vaut largement le prix très raisonnable que je l'ai payé.
14 : Mon ordinateur portable de loisirs - construit en 2011 ! J'ai beaucoup d'électronique et de logiciels de programmation dessus. On voit *Visual Analyzer* comme générateur de signal, malheureusement seulement pour les fréquences audio.
15 : Cet 'amplificateur' augmente le niveau des signaux de l'ordinateur portable. J'ai testé entre autres un amplificateur hi-fi de classe A.
16 : Carte-son USB externe bon marché.
17 : À l'arrière de cet amplificateur se trouve un atténuateur (également d'Elektor) pour les signaux d'entrée si nécessaire. ⏮

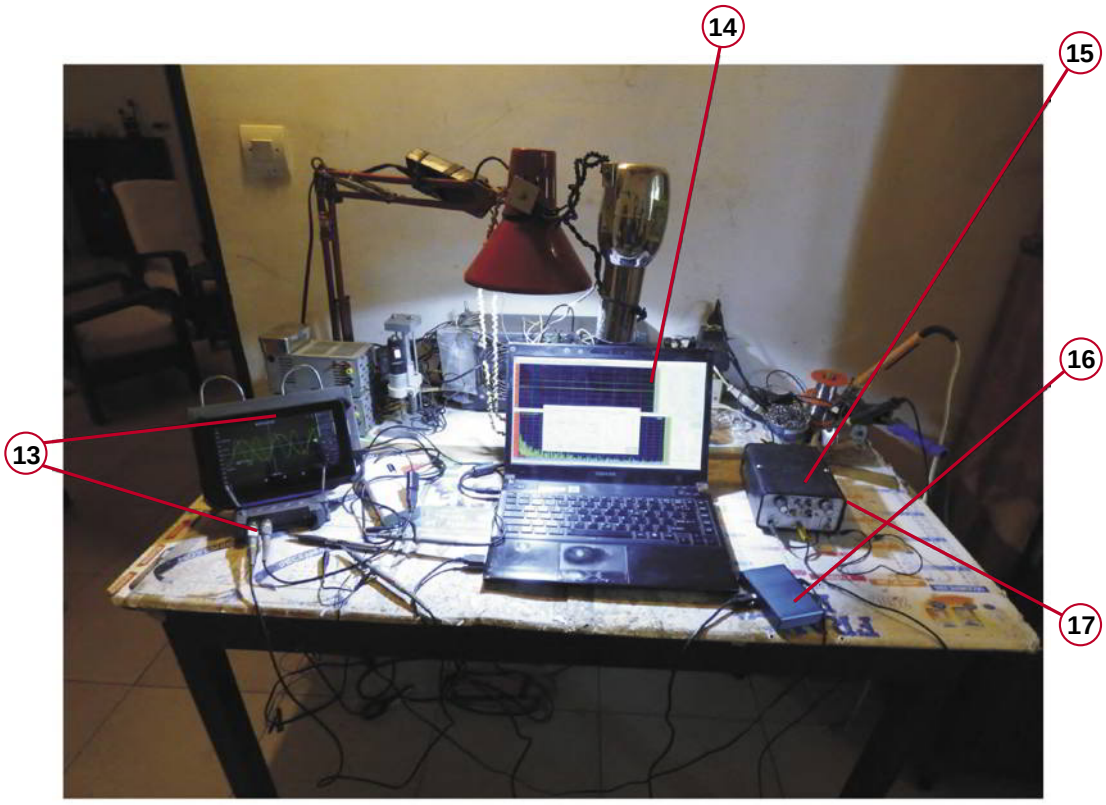
(191139-03 VF)

Liens

[1] Multi-adaptateur: www.elektormagazine.fr/labs/comfortable-and-inexpensive-v-a-controller-civac-1-1

[2] Testeur de transistors: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201406/26538

[3] André Aguila: www.elektormagazine.fr/search?query=Andr%C3%A9+Aguila

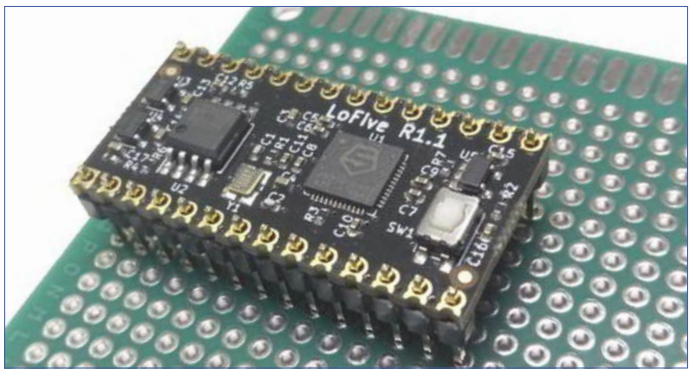


premiers pas avec RISC-V

Mes premiers ébats avec la carte LoFive

Tam Hanna (Allemagne)

Après ARM, RISC-V pourrait devenir le prochain grand succès sur le marché des processeurs. Promue par une fondation [1], cette architecture basée sur un jeu d'instructions est utilisable aussi bien sur l'embarqué que comme processeurs d'ordinateurs et sa licence est gratuite. Toutefois, il n'y a encore que peu de microcontrôleurs ou de cartes disponibles sur le marché. Notre auteur Tam Hanna a essayé la carte économique LoFive.



Comme l'architecture ARM est brevetée comme un tout, le développement continuel de l'architecture X86 contraint le fournisseur d'un noyau X86 dernier cri au paiement de substantiels droits de licence.
Conçue à l'université de Berkeley, l'architecture RISC-V a pour but explicite de chasser sur les terres de l'embarqué aussi bien que sur celles des grands systèmes. L'argument de loin le plus convaincant des promoteurs est la gratuité de la licence. La **figure 1**, tirée du site [2], indique que l'utilisation de l'architecture est gratuite.

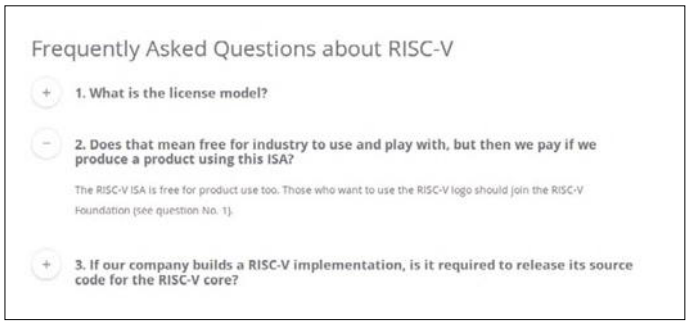


Figure 1. L'architecture RISC-V est d'utilisation gratuite et ne comporte pas de licences contraignantes.

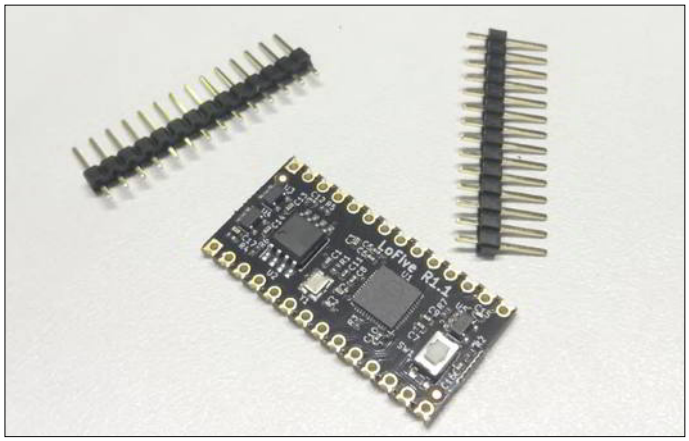


Figure 2. La carte peut aussi être utilisée comme CMS.

Alors que le développement de l'architecture RISC-V est en cours depuis de nombreuses années, du matériel tangible n'est disponible que depuis peu. Une carte d'évaluation à bas prix est disponible chez *GroupGets* sous le nom de *LoFive*, avec un processeur RISC-V *Freedom* E310 du fondeur *SiFive* [3].
Du fait du développement rapide de l'architecture, il en existe maintenant deux versions ; nous allons travailler avec la version la plus récente, désignée par R1 ou 1.1. Notez que la version ancienne se distingue notablement de la nouvelle et que les opérations présentées ici ne lui sont pas directement applicables.

Opérations préparatoires

Quand on déballe *LoFive* (**fig. 2**), on remarque un groupe de pastilles de connexion nues. Le fabricant propose des brochages à usage multiple permettant soit le soudage de barrettes au pas de 2,54 mm, soit le soudage direct sur une carte mère. Pour mon confort, je préfère une platine d'expérimentation classique.
La carte *LoFive* est actuellement disponible pour 25 € environ. Ce prix modeste s'explique, entre autres, par l'absence d'une puce de programmation, ce qui oblige l'utilisateur à prévoir une carte d'adaptation USB/série FT2232H-56Q du fabricant FTDI. Le **tableau 1** donne les liaisons entre les deux cartes.
Si l'on envisage un travail sérieux avec *LoFive*, il est recommandé de commencer par réaliser une carte d'accueil. Pour les premières expérimentations, des fils Dupont font l'affaire (**fig. 3**). Dans mon labo, qui fourmille de perturbations électromagnétiques du fait de la présence de nombreuses lampes à LED, des fils de 10 cm de long n'ont guère posé de problèmes ; ceux qui se sont manifestés lors de l'identification de la cible ont disparu à la passe suivante.

Tableau 1. Connexions entre LoFive et l'adaptateur de programmation	
broche LoFive	**broche de l'adaptateur FTDI**
+5Vin	VBS
GND	GND
TRSTN	AD5
TCK	AD0
TDO	AD2
TMS	AD3
TDI	AD1
UART0.TX	BD1
UART0.RX	BD0

Début des travaux

La plupart des éléments nécessaires étaient déjà présents sur ma station de travail sous Ubuntu 18.04. Saisissez la commande suivante pour installer les paquets :

```
sudo apt-get install autoconf automake libmpc-dev
   libmpfr-dev libgmp-dev gawk bison flex texinfo
   libtool libusb-1.0-0-dev make g++ pkg-config
   libexpat1-dev zlib1g-dev
```

Il y a ici matière à frustration pour les utilisateurs de Windows ou de MacOS. Linux est devenu un quasi-standard dans le monde du développement sur RISC-V ; en particulier, pour travailler avec les cartes encore peu répandues, les chances de Windows sont faibles. Basé sur *Eclipse*, l'environnement de développement *Freedom* Studio, proposé par le fabricant de processeurs *SiFive*, supporte la carte de développement officielle *HiFive*. Au moment où j'écris cet article, la carte *LoFive* ne bénéficie guère de la sympathie de cet EDI.
L'étape suivante consiste à télécharger le SDK au moyen du client `git` par les commandes :

```
tamhan@TAMHAN18:~$ cd riscvneu/
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu$ git clone --recursive
   https://github.com/mwelling/freedom-e-sdk.git
. . .
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu$ cd freedom-e-sdk
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk$ git
   checkout lofive-r1
M            freedom-devicetree-tools
. . .
```

Ce qui est nouveau ici, c'est qu'après le téléchargement de l'archive principale, il faut encore télécharger un sous-module, indispensable pour la mise en œuvre des modules spécifiques *LoFive* R1.
À l'étape suivante, il faut donner une commande de synchronisation à *Github* avant de télécharger un autre sous-module :

```
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk$ git
   submodule sync
Synchronizing submodule url for 'doc/html'
. . .
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk$ git
   submodule update --init --recursive
. . .
Submodule path 'freedom-devicetree-tools': checked
   out '4f25a7512696f0b41c17e517d39d097499b931a7'
```

L'appel à `sync` n'est pas absolument indispensable, mais une précaution raisonnable en cas de doute : j'ai observé des messages d'erreurs au cours de mes tests.
La chaîne d'outils RISC-V s'appuie en général sur le compilateur GCC et OpenOCD, d'autres cartes d'évaluation utilisent une interface de programmation *Seggers*.
Comme la compilation de la chaîne d'outils sur la station de travail requiert pas mal de temps, *SiFive* a entretemps mis à disposition un paquet plus ou moins fini. Ouvrez pour commencer l'URL https://www.sifive.com/boards dans votre navigateur favori et déroulez la page vers le bas jusqu'à la rubrique *Prebuilt RISC-V GCC Toolchain and Emulator*.
Pour les étapes suivantes, il nous faut en tout cas les versions *GNU Embedded Toolchain — v2019.08.0* et *OpenOCD — v2019.08.2*. Cliquez sur les deux liens et extrayez leurs

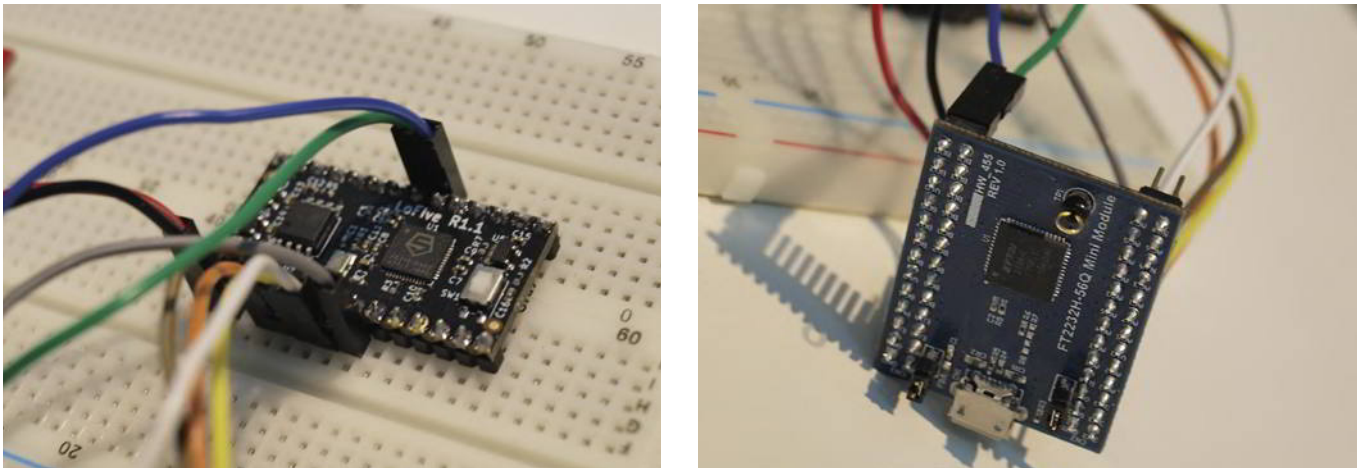


Figure 3. Un module USB/série de FTDI est utilisé pour la programmation.

contenus dans des sous-répertoires du répertoire de travail. Dans la suite, j'utilise le nom de répertoire *riscvneu*; la réponse à la commande `dir` est alors :

```
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/$ dir
freedom-e-sdk/
riscv64-unknown-elf-gcc-8.3.0-2019.08.0-x86_64-linux-
   ubuntu14/
riscv-openocd-0.10.0-2019.08.2-x86_64-linux-ubuntu14/
```

Pour des raisons pratiques, la chaîne d'outils suppose qu'elle peut localiser le compilateur et compagnie grâce à des variables d'environnement : cela réduit la configuration d'une nouvelle chaîne d'outils à une simple édition de ces variables.

Comme les modifications du paramètre PATH sont généralement laborieuses, nous utiliserons dans la suite des chemins temporaires :

```
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk$ export
   RISCV_OPENOCD_PATH=/home/tamhan/riscvneu/riscv-
   openocd-0.10.0-2019.08.2-x86_64-linux-ubuntu14/
tamhan@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk$ export
   RISCV_PATH=/home/tamhan/riscvneu/riscv64-unknown-
   elf-gcc-8.3.0-2019.08.0-x86_64-linux-ubuntu14/
```

Notez que la commande export n'est valable que dans la fenêtre de terminal où elle a été saisie. Si vous voulez utiliser une autre fenêtre ou si vous la fermez involontairement, il faudra recommencer tout le processus. Comme les noms de répertoires cités ne sont valables que sur ma machine, il est également improbable que votre nom d'utilisateur soit *tamhan*.

Configuration de *OpenOCD*

OpenOCD est un outil relativement compliqué de la panoplie de programmation Linux embarqué. Il prend contact avec le système cible en passant par différents systèmes nommés probes puis accepte des commandes à travers un port réseau de la station de travail. *OpenOCD* est habituellement associé à l'outil *GDB-Debugger*.

Le problème de *OpenOCD* est que sa configuration définie dans les fichiers `.conf` est très « serrée ». Comme le développeur qui a porté la chaîne vers le processeur RISC-V ne travaille pas sous Ubuntu 18.04, il se produit à l'exécution des erreurs du genre suivant :

```
tamhan@TAMHAN18:~/riscvspace/freedom-e-sdk$ sudo make
   upload PROGRAM=led_fade BOARD=freedom-e300-lofive
[sudo] password for tamhan:
. . .

Error: unable to open ftdi device with vid 0403, pid
   6010, description 'FT2232H-56Q MiniModule', serial
   '*' at bus location '*'
```

Si vous observez ce genre d'erreur sur votre système, il faut commencer par examiner le texte de *description* du pilote kernel du module FTDI connecté, qu'on peut obtenir facilement avec la commande *lsusb* :

```
tamhan@TAMHAN18:~$ lsusb
. . .
Bus 001 Device 009: ID 0403:6010 Future Technology
   Devices International, Ltd FT2232C Dual USB-UART/
   FIFO IC
```

Ensuite, il faut localiser la description des problèmes, ce qui s'effectue commodément au moyen du bon vieil utilitaire G*rep*. La réponse se présente de la manière suivante :

```
root@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk#  grep -r
   FT2232 *
bsp/lofive-r1-bootloader/openocd.cfg:ftdi_device_desc
   "FT2232H-56Q MiniModule"
bsp/lofive-r1/openocd.cfg:ftdi_device_desc "FT2232H-
   56Q MiniModule"
```

Ouvrez ensuite les deux fichiers avec l'éditeur de votre choix et cherchez le bloc de déclarations suivant :

```
interface ftdi
#ftdi_device_desc "Dual RS232-HS"
ftdi_device_desc "FT2232C Dual USB-UART/FIFO IC"
ftdi_vid_pid 0x0403 0x6010
```

Tout d'abord, cela informe *OpenOCD* qu'il a affaire à une interface FTDI. Ensuite, on a l'ensemble des deux identifieurs numériques et du texte descriptif qui doit servir à découvrir le matériel cible.
Comme dans notre cas la combinaison du VID et du PID suffit, nous pouvons simplifier la configuration :

```
interface ftdi
ftdi_vid_pid 0x0403 0x6010
```

On démarre

Un problème auquel on se heurte depuis l'apparition de la première carte d'évaluation est sans conteste celui de l'obsolescence du progiciel. Rien d'étonnant, car pendant leur trajet du constructeur à la paillasse du développeur, les cartes séjournent pendant un bon moment chez le distributeur où leur logiciel a largement le temps de prendre la poussière.
Notre première action va donc consister à mettre à jour le chargeur d'amorçage. Pour cela nous devons commencer par nettoyer l'environnement de configuration, qui véhicule des artefacts de la machine du constructeur :

```
root@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk# make
   PROGRAM=lofive-boot TARGET=lofive-r1-bootloader
   clean
make -C /home/tamhan/riscvneu/freedom-e-sdk/software/
   lofive-boot PORT_DIR= clean
make[1]: Entering directory '/home/tamhan/riscvneu/
   freedom-e-sdk/software/lofive-boot'
. . .
```

Pour interagir avec une carte RISC-V par l'intermédiaire du SDK *Freedom*, on utilise ordinairement l'outil make, qui, outre les variables `PROGRAM` et `TARGET`, s'attend à trouver une commande à exécuter.

Le téléversement du chargeur d'amorçage s'effectue ensuite comme suit :

```
root@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk# make
   PROGRAM=lofive-boot TARGET=lofive-r1-bootloader
   upload
cd /home/tamhan/riscvneu/freedom-e-sdk/bsp/lofive-r1-
   bootloader/build/debug/ && \
```

Par commodité, l'auteur a inclus ces diverses commandes dans un script Root-Shell. Si ce n'est pas souhaité, on peut très bien saisir les diverses corrections à la main.
Après le téléversement avec succès du chargeur d'amorçage, nous pouvons nous occuper d'un premier programme :

```
root@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk# make
   PROGRAM=sifive-welcome TARGET=lofive-r1 upload
```

Après l'exécution de cette commande, on observe sur les sorties MLI une forme d'onde relativement lente. Si vous pouvez l'observer sur votre oscilloscope (mode de défilement *Roll* indispensable ou recommandé), la configuration a été effectuée avec succès. Pendant son exécution, notre programme de démo fournit des informations d'état récupérables sur la fenêtre de commande ou celle d'un quelconque autre émulateur de terminal :

```
tamhan@TAMHAN18:~$ screen /dev/ttyUSB1 115200
[screen is terminating]
tamhan@TAMHAN18:~$
```

Lors de l'utilisation de cette commande, il faut prendre garde de démarrer *screen* avant le programme proprement dit. Le terminal *screen* n'est pas évident à arrêter : le plus simple est de taper Ctrl/A puis K et de répondre Y à la demande de confirmation d'arrêt de *screen*.

Où se trouve le code ?

Pour finir, il reste la question de savoir où se trouve le code « à traiter ». La réponse est le répertoire du logiciel ; dans le cas de notre exemple de projet le contenu se présente de la manière suivante :

```
root@TAMHAN18:~/riscvneu/freedom-e-sdk/software/
   sifive-welcome# ls
debug  LICENSE  LICENSE.Apache2  LICENSE.MIT
   Makefile  README.md  sifive-welcome.c
```

Le fichier *make* responsable de la conduite des différents processus de compilation se limite en général à inclure un fichier *make* fourni par *SiFive* – il s'occupe ensuite de réaliser les diverses commandes comme *upload*.

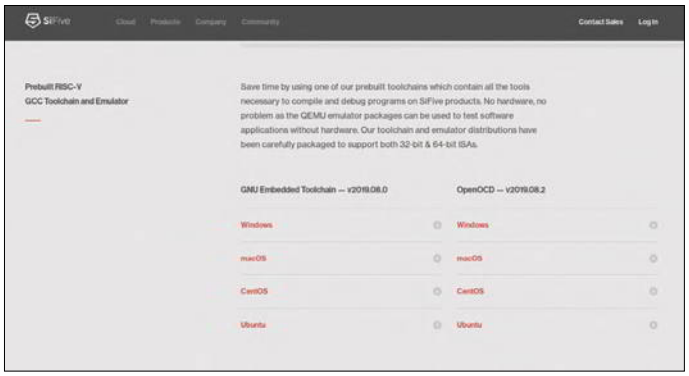


Figure 4. L'option de téléchargement pour la chaîne d'outils RISC-V est bien dissimulée.

On me presse, pour des raisons de place, de mettre un terme à cette évaluation, mais je voudrais encore souligner qu'à l'heure où j'écris ces lignes, la chaîne d'outils n'est toujours pas en mesure d'accomoder C++.

Cela vaut-il la peine ?

Si l'on est à la recherche d'un microcontrôleur économique, on le trouvera sans doute plus facilement chez ST, *Microchip* ou divers fournisseurs chinois que chez RISC-V. Car même une architecture ouverte n'offre pas la gratuité du silicium. Vu le petit volume des ventes, l'effet d'échelle chez ARM ou d'autres architectures propriétaires fait que leur offre reste pour l'instant globalement plus intéressante.

S'occuper de RISC-V vaut déjà la peine pour des personnes ayant un intérêt académique ou de hacker pour la plateforme RISC-V. Il est à prévoir toutefois que cette plateforme parvienne à s'assurer quelques succès notables dans le domaine de l'embarqué, ne serait-ce qu'à cause du très large soutien des nombreuses sociétés qui y participent. ⏮

(191138-03 VF Helmut Muller)

Liens

[1] Fondation RISC-V: https://riscv.org/

[2] FAQ sur RISC V: https://riscv.org/faq/

[3] LoFive sur GroupGets: https://groupgets.com/manufacturers/qwerty-embedded-design/products/lofive-risc-v

un géotraceur LoRa défie Elektor Labs

Petits tracas du concepteur avec leur solution en gelée

Mathias Claußen (Elektor-Labor)

D'après les messages reçus de lecteurs d'Elektor, un traceur mobile GPS doté de la fonctionnalité LoRa semble désiré et même hautement désirable. C'est dans la bonne humeur qu'Elektor Labs s'est attelé à satisfaire ce besoin. On y est presque, mais voici en guise de mise en bouche, quelques-uns des pièges rencontrés… et déjoués !

Un projet de traceur (ou pisteur) GPS LoRa est actuellement à l'étude chez Elektor Labs. Son circuit imprimé a déjà subi plusieurs itérations et on approche de la production finale et de la publication. L'idée du *LoRa Tracker* est simple : c'est un mouchard alimenté par batterie qui à intervalle régulier transmet sa position à travers un réseau LoRa WAN. Le tout doit tenir dans un boîtier *Hammond* 1551K et être alimenté par des piles NiMh et Lithium, rechargeables ou échangeables par l'utilisateur. Pas de piles, pas de gaspillage.

Alimentation

Mon choix s'est porté sur des piles au lithium remplaçables (10440 ou AAA). Avec leur tension typique d'environ 3,6 V, le circuit peut être alimenté par un régulateur à faible tension de déchet (LDO). Comme une batterie au lithium ne se remet généralement pas d'une décharge profonde, j'ai donc prévu l'arrêt automatique en cas de sous-tension (**fig. 1**).
Au démarrage, un courant de forte intensité circule brièvement jusqu'à ce que les condensateurs en aval du régulateur soient chargés. L'augmentation de cette intensité est susceptible de faire passer la tension aux bornes de la batterie sous les 2,95 V pendant un court instant. Si cela arrive, IC1 déclenche un verrouillage pour cause de sous-tension (*Under Voltage Lockout*) et IC2 est désactivé. On ne veut pas ça et on y remédie avec C16 en amont du régulateur de tension, un électrolytique de 470 µF en parallèle sur C15 (100 nF). En tamponnant le courant d'irruption, ce condo maintient la tension en amont du régulateur au-dessus du seuil critique de 3 V. Par conséquent, IC1 ne deviendra actif que lorsque la batterie sera réellement déchargée. Sur la première version du PCB, nous n'avions pas tenu compte de ce besoin. Le problème a été résolu par l'adjonction de C16 et C15 (**fig. 2**).

Obstacles

Le µC a ensuite été mis sous tension et connecté à un débogueur. Et il a répondu sagement. Tout semblait fonctionner.

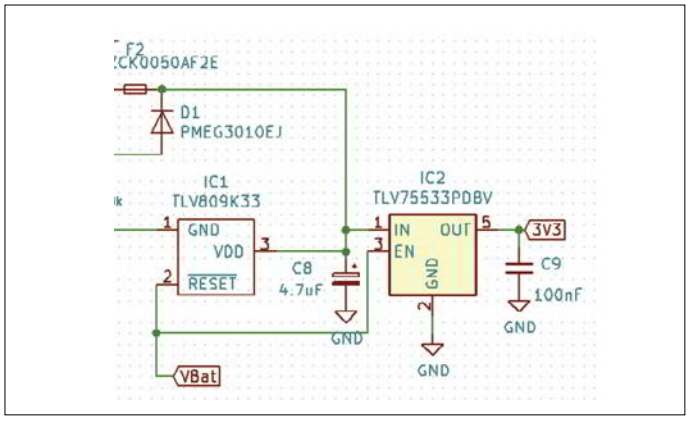


Figure 1. Section de circuit comprenant l'alimentation électrique.

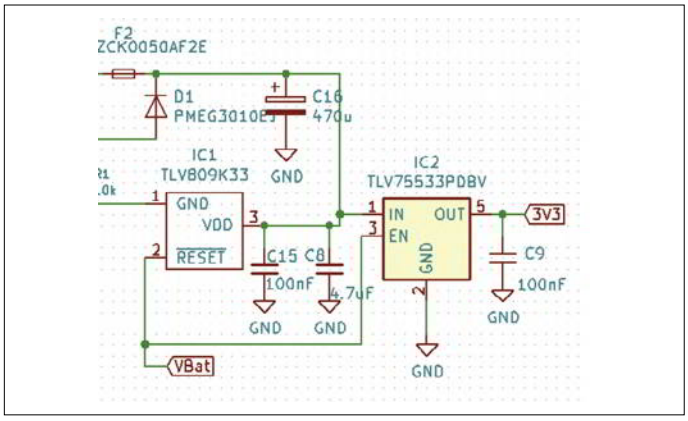


Figure 2. Circuit modifié avec condensateur électrolytique comme tampon en amont.

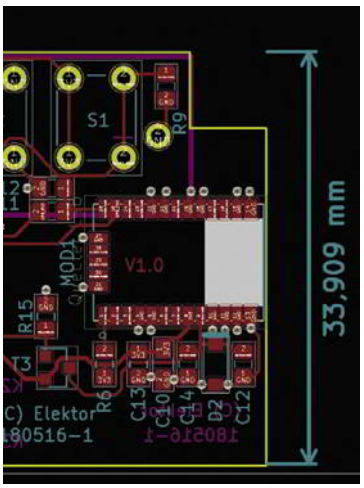


Figure 3. Avec cette version du circuit imprimé, c'est l'espace insuffisant autour du module GPS qui entravait la réception.

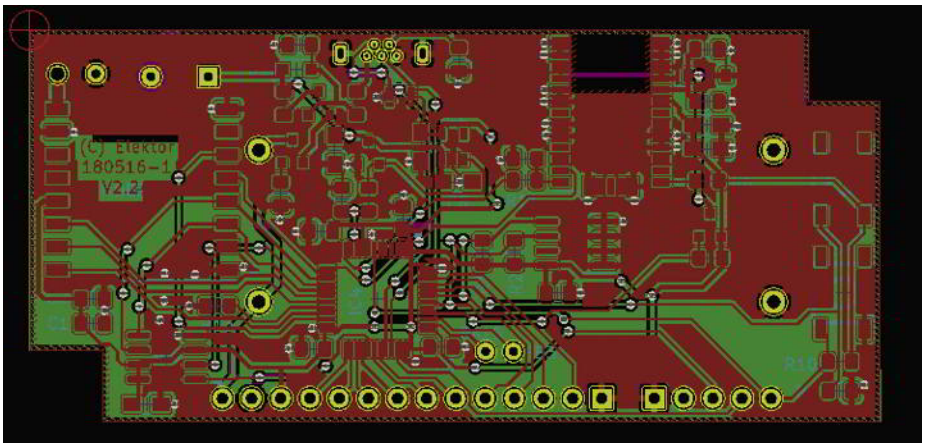


Figure 4. Avec cette version améliorée, la nouvelle disposition et le plan de masse redimensionné permettent une bonne réception.

Passons donc aux choses sérieuses : tester le module GPS. Malheureusement, sous l'antenne du module, le cuivre n'a pas été retiré, ce qui interdisait toute réception. Une fois la pellicule de cuivre supprimée, le module aurait théoriquement dû recevoir les données GPS. C'est compter sans les indications de la notice du module (RTFM) sur les dimensions requises d'un plan de masse nécessaire à la réception !

La largeur minimale requise est de 45 mm + 10 mm à gauche et à droite, et 20 mm en profondeur. Regardez la carte (**fig. 3**), il n'y a malheureusement pas plus de 34 mm. Même un plan de masse continu sans composants était irréalisable compte tenu des dimensions compactes souhaitées. Toujours aucune réception ! Il fallait donc une nouvelle version de la carte, améliorée conformément aux exigences.

Le module GPS ne fait que 14 × 10 mm et l'antenne embarquée ne fait que quelques millimètres. Malheureusement, on ne miniaturise pas une antenne aussi aisément qu'un semi-conducteur. Plus elles sont réduites, plus il faut agrandir le plan de masse des antennes pour compenser. Les dimensions et l'agencement de la carte améliorée (fig. 3) ont été modifiés pour les conformer aux spécifications de la fiche technique. Au premier test, le module a d'emblée reçu le signal de plusieurs satellites puis, après les 10 à 12 minutes de tricotage habituelles, la géolocalisation GPS a été obtenue. RTFM !

… et autres em…dements

Pour le test, le module a été alimenté sous la tension de 5 V d'un port USB d'ordinateur portable. Mauvaise idée pour l'alimentation du récepteur GPS, car ce câble d'alimentation ramasse des résidus de RF et des parasites qui peuvent perturber le récepteur. Une fois le module alimenté par une bonne alim de labo, sa réception s'est sensiblement améliorée, mais restait insuffisante par mauvais temps sur le terrain. La configuration du circuit avec le module GPS retenu n'a pas été du gâteau. Il a fallu se creuser les méninges pour trouver une disposition plus facile à souder, qui à la fois améliore la réception et coûte encore moins cher. D'autres surprises désagréables nous ont été réservées par le µC, les logiciels et la mécanique. Pas étonnant que ce projet ne soit pas encore mûr pour la publication. Bientôt des nouvelles dans une prochaine édition d'Elektor et bien sûr sur notre site Elektor Labs [**3**].

(191155-02 VF)

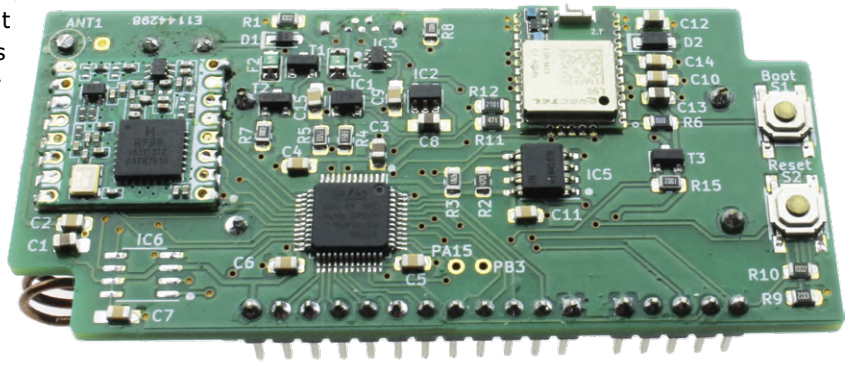


Figure 5. Voici le prototype testé et en état de marche.

Liens

[1] Guide de conception du module GPS (L96) : www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_L96_Hardware_Design_V1.2.pdf

[2] Fiche technique du module GPS (L96) : www.quectel.com/UploadFile/Product/Quectel_L96_GNSS_Specification_V1.1.pdf

[3] Page du projet sur le site ElektorLabs : www.elektormagazine.com/labs/lorawan-node-experimental-platform

Sigfox : un renard sur l'internet des objets (2)

Inscription au réseau Sigfox

Frank Schleking & **Bernd vom Berg** (Allemagne)

Dans cet article de la brève série sur le réseau Sigfox, nous en expliquons d'abord la structure de base et l'infrastructure dorsale (*backend*). Puis nous intégrons notre carte MKR FOX 1200 dans ce réseau de communication mondial.

La figure 1 montre la structure de base du réseau Sigfox. Les *Sigfox objects* (également appelés *devices* ou *appareils*) envoient leurs télégrammes par émission radio sur la bande ISM 868 MHz sans licence. Outre l'identification de la station (*Station ID*), chaque télégramme contient un champ de données utilisateur, appelé *Payload*, de 12 octets max. que l'utilisateur peut transmettre comme données de mesure ou d'état ou autres avec chaque émission. Cela semble peu, mais comme Sigfox est utilisé sur le terrain comme un réseau 0G, c'est plus que suffisant. Par exemple, 12 valeurs de mesure de 1 octet, ou 3 valeurs de mesure de 2 octets chacune peuvent être transmises avec un ensemble de données GPS de 6 octets. Comme Sigfox fonctionne dans la bande ISM libre, pas plus de

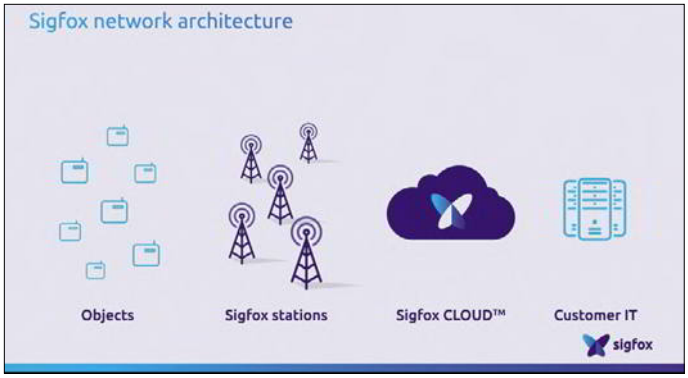


Figure 1. Structure de base du réseau Sigfox.

140 transmissions par appareil et par jour ne sont autorisées. Officiellement, notre carte MKR FOX 1200 ne peut donc envoyer de télégramme que toutes les 11 minutes.
Selon la couverture, ces émissions sont captées par une à trois stations de base Sigfox. Tout ceci est comparable aux réseaux radio mobiles, à ceci près que sur Sigfox ce sont des données de mesure, d'état ou de position, sans parole, ni musique, ni images, ni films. L'Allemagne est couverte par environ 1 200 stations de base Sigfox, soit une couverture d'environ 85 %. Chaque base Sigfox reçoit, traite et transmet les émissions d'un million d'objets au maximum.
C'est par l'internet ou des liaisons GSM que toutes les données reçues par les bases passent dans le *Sigfox Cloud*. Là les utilisateurs peuvent récupérer leurs données et les exploiter dans leur système (*Customer IT*). Dans le nuage, les données sont automatiquement transmises au compte de l'utilisateur associé à l'appareil émetteur. L'interface de configuration des comptes utilisateurs est appelée *Sigfox Backend* (c'est-à-dire infrastructure). C'est dans cette arrière-boutique que les nœuds Sigfox sont enregistrés, affectés à des groupes et que le transfert de données vers le client (*callbacks*) est configuré.
Il y a du beau monde, matériel et logiciel, entre la station et l'utilisateur Sigfox. C'est assez compliqué, mais on ne s'en soucie pas ici, car l'utilisation d'une station Sigfox au sein du réseau est accessible facilement en quelques étapes seulement :

- Outre le modem Sigfox, vous avez besoin d'un logiciel de communication Sigfox adapté à votre microcontrôleur. Il existe une bibliothèque Arduino prête à l'emploi, qu'il suffira de lier au croquis.
- En quelques clics, on s'enregistre sur l'internet comme utilisateur Sigfox sur le *backend* Sigfox. À l'achat de la carte MKR FOX 1200, vous recevez un abonnement d'un an de fonctionnement gratuit sur le réseau Sigfox.
- Ensuite, en quelques clics, on enregistre notre station auprès du *backend* Sigfox.
- Maintenant vous créez votre application Sigfox (un croquis Arduino) avec les fonctions déjà prêtes de la bibliothèque Sigfox et envoyez les données au *backend* Sigfox.
- Depuis l'infrastructure Sigfox, vous pouvez ensuite très facilement transférer vos données dans le monde entier sur l'internet et les traiter sur votre ordinateur avec p. ex. un logiciel de tableau de bord gratuit.

Les trois premières étapes sont expliquées ici ; le prochain épisode sera consacré au quatrième point, tandis que le cinquième sera le sujet du dernier article.
Sachant que Sigfox est un système de transmission par radio, il faut connaitre la couverture de votre lieu de résidence que vous trouverez sur la carte de couverture Sigfox [**1**].

La tannière de Sigfox

La **fig. 2** montre la structure générale que les utilisateurs doivent créer sur le *backend* Sigfox pour leurs systèmes Sigfox. La destination de tout transfert de données à partir des stations Sigfox individuelles est le nuage Sigfox avec, dans chaque pays, l'ordinateur de l'infrastructure dorsale locale. De là, les utilisateurs peuvent, par l'internet, télécharger les données sur leur ordinateur personnel pour les y faire traiter. Voyons d'abord la structuration des données de notre carte MKR FOX 1200 stockées dans l'ordinateur de l'infrastructure.

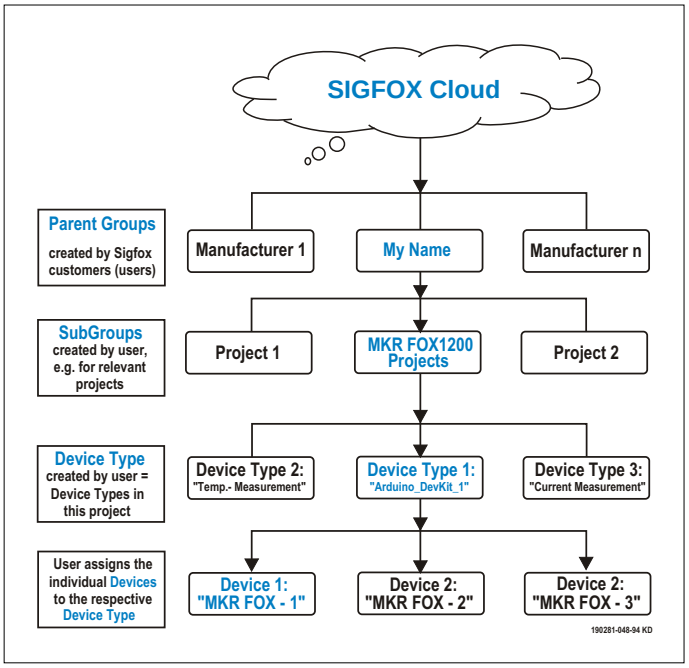


Figure 2. Infrastructure du réseau Sigfox.

La première fois que vous vous connectez en tant qu'utilisateur au *backend* Sigfox, vous saisissez votre nom commercial (arbitraire). À partir de là, le *backend* crée automatiquement le groupe Sigfox-Parent du même nom, en l'occurrence MyName. Vous êtes dès lors enregistré comme utilisateur dans le réseau Sigfox. Ce nom ne pourra plus être modifié.
Dans ce groupe, vous pouvez maintenant créer des sous-groupes et structurer toutes vos applications Sigfox en fonction de vos projets individuels. Vous pouvez donc créer un sous-groupe appelé 'MKR FOX 1200 Projects', mais cela à quoi bon si vous n'utilisez qu'une seule carte MKR FOX 1200. Nous n'avons donc pas créé de sous-groupes.
Au niveau inférieur suivant, les appareils utilisés peuvent être combinés pour former un type d'appareil. Un type de dispositif contient tous les dispositifs du même type qui ont la même structure et les mêmes fonctions et qui envoient donc les mêmes types de données et les mêmes quantités de données. En général, il s'agit d'appareils identiques du même fabricant, tels que les capteurs de température, de pression, de débit, etc. L'idée sous-jacente est de pouvoir traiter de la même manière les ensembles de données d'une classe de type de dispositif, mais avec des contenus différents.
Ici c'est très simple puisque nous n'avons qu'un seul appareil du même type, notre carte MKR FOX 1200. Ainsi, lorsque nous enregistrerons plus tard la carte sur le *backend* Sigfox, celui-ci créera automatiquement le type de périphérique 'Arduino_DevKit_1'. Ce nom pourra être modifié, de même que d'autres types d'appareils peuvent être créés individuellement et supprimés.
Au cours de l'étape finale, les différents appareils utilisés sont affectés à un type d'appareil : lorsque vous enregistrez notre carte MKR FOX 1200, le *backend* affecte automatiquement cette carte au type d'appareil 'Arduino_DevKit_1' et lui attribue automatiquement le même nom de périphérique Arduino_DevKit_1_device. Plus tard nous le rebaptiserons MKR FOX - 1. Ce qui suit est très important :

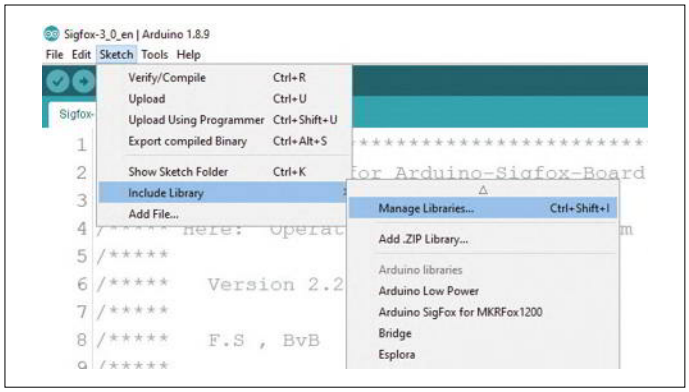


Figure 3. Appeler le gestionnaire de bibliothèque.

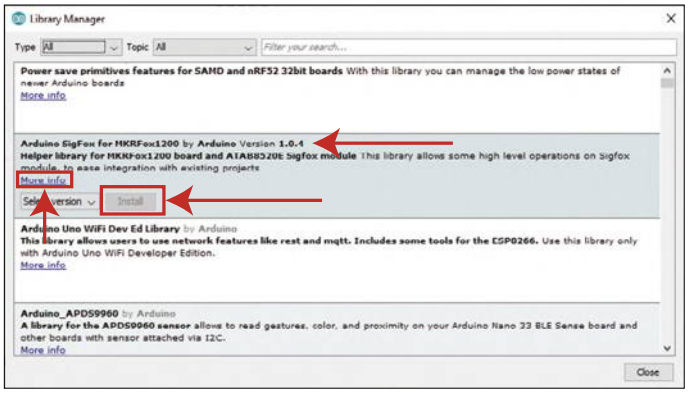


Figure 4. Liste des bibliothèques Arduino originales.

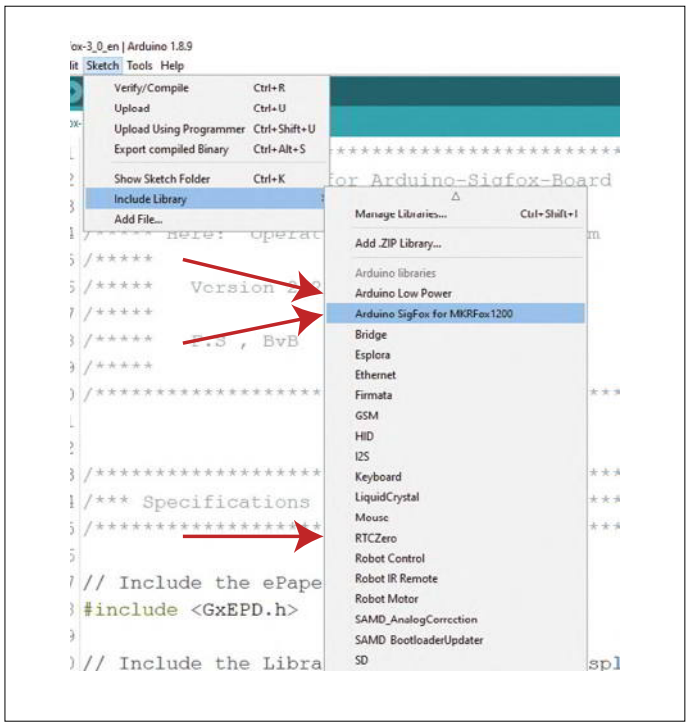


Figure 5. Les trois nouvelles bibliothèques sont disponibles.

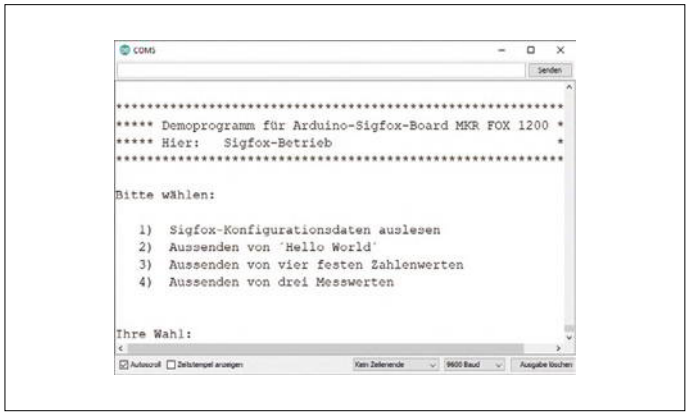


Figure 6. Menu principal du croquis Sigfox-3_0.ino.

Tous les appareils d'un même type envoient ensuite les mêmes enregistrements de données structurés (*callbacks*) du *backend* Sigfox à l'ordinateur de l'utilisateur, seul leur contenu sera différent ! Les appareils se distinguent par leur identifiant (ID) unique.
Comme nous n'utilisons qu'une seule carte MKR FOX 1200, l'arborescence se réduit à :

```
Groupe :            Mon nom
Sous-groupe :       néant
Type d'appareil :   Arduino_DevKit_1
Nom du dispositif : MKR FOX - 1
Code appareil :     47110815 (exemple)
```

Notre carte MKR FOX 1200 envoie ses messages à l'infrastructure Sigfox. Les données y sont affectées en interne et peuvent ensuite être transmises à l'utilisateur. La forme sous laquelle cela se fait est définie dans les rappels (décrits dans un prochain épisode de cet article).

Bibliothèque Arduino Sigfox

Avant de pouvoir travailler dans le réseau Sigfox avec le MKR FOX 1200, il faut installer la bibliothèque *Arduino Sigfox for MKRFox1200* avec les routines de communication Sigfox nécessaires. Pour ce faire, ouvrez le gestionnaire de bibliothèque dans l'EDI Arduino via *Sketch\Include Library\Manage Library* (**fig. 3**). Une (longue) liste s'ouvre avec les bibliothèques Arduino originales de l'EDI Arduino et, selon l'application, il suffit de les installer (**fig. 4**). Dans les versions plus récentes de l'EDI, les trois bibliothèques requises sont incluses. Maintenant, chargez et installez la bibliothèque en cliquant sur Installer. Les deux bibliothèques Arduino originales *Arduino LowPower* et *RTCZero* sont installées de la même manière.
Ces bibliothèques Arduino originales de l'IDE sont bien documentées et assez complètes. Si vous cliquez sur le bouton Plus d'infos (en bas à gauche dans chaque champ bibliothèque), vous obtiendrez une description détaillée des fonctions de cette bibliothèque et de son application. Si vous sélectionnez de nouveau *Sketch\ Embed library*, vous verrez que les trois nouvelles bibliothèques sont maintenant dans l'EDI (**fig. 5**).
Dans un nouveau croquis, il vous suffit d'inclure la bibliothèque Sigfox en cliquant sur le nom de la bibliothèque (les deux autres bibliothèques sont automatiquement incluses). L'IDE insère alors automatiquement l'instruction `#include` corres-

pondante dans le croquis :

```
#Include < SigFox.h> //Intégrer la bibliothèque Sigfox
```

Toutes les fonctions des trois bibliothèques sont disponibles et peuvent être utilisées immédiatement.
Le tableau 1 décrit en bref les fonctions centrales les plus importantes de Sigfox utilisées ci-dessous.
Dans le logiciel Elektor [**2**], vous trouverez le fichier `Sigfox-3_0.ino`, dans lequel toutes les séquences de programmes décrites ci-dessous sont immédiatement exécutables. Chargez le croquis, démarrez-le de même que le moniteur série. Le menu principal de notre croquis apparaît dans le moniteur série (**fig 6**).

Attention : L'antenne Sigfox doit maintenant être connectée au module pour éviter d'endommager l'étage de sortie RF du module lors de tentatives de transmission (involontaires) ! Et souviens-toi, petit renard : officiellement, tu n'as droit qu'à 140 glapissements par jour par appareil Sigfox !

Tableau 1. Principales fonctions centrales de Sigfox dans la bibliothèque Sigfox

Fonction	Description	Syntaxe	Paramètre	Retour
`SigFox.begin()`	Lie la bibliothèque Sigfox et le module.	`SigFox.begin();`	néant	`true` si tout va bien, sinon `false`
`SigFox.beginPacket()`	Préparer un envoi	`SigFox.beginPacket();`	néant	néant

`SigFox.print()`	Envoie les valeurs sous forme de chaînes de caractères à l'infrastructure Sigfox.	`SigFox.print(val);`
		`SigFox.print(str);`
		`SigFox.print(buf,len);`
			val: une valeur numérique (octet)
			str: une chaîne (suite d'octets)
			buf: une matrice (d'octets)
			len: longueur du tampon buf
				néant

`SigFox.write()`	Envoie les données binaires à l'infrastructure Sigfox (octet ou série d'octets).	`SigFox.write(val);`
		`SigFox.write(str);`
		`SigFox.write(buf,len);`
			val: une valeur numérique (octet)
			str: une chaîne (suite d'octets)
			buf: une matrice (d'octets)
			len: longueur du tampon buf
				néant

`SigFox.endPacket()`	Interrompt le processus de transmission lancé par SigFox.beginPacket()	`SigFox.endPacket();`	néant	0 comme entier si l'émission a réussi1 en cas d'erreur
`SigFox.debug()`	Active le mode de débogage. Toutes les fonctions d'économie d'énergie sont désactivées, la LED sur la carte est activée pendant le transfert des données.	`SigFox.debug();`	néant	néant
`SigFox.SigVersion()`	Renvoie la version du progiciel du module Sigfox.	`SigFox.SigVersion();`	néant	chaîne de 2 octets
`SigFox.ID()`	Renvoie l'ID unique du module fixé par le fabricant.	`SigFox.ID();`	néant	chaîne de 4 octets
`SigFox.PAC()`	Renvoie le PAC unique associé à l'ID.	`SigFox.PAC();`	néant	chaîne de 16 octets
`SigFox.end()`	Délie la bibliothèque Sigfox et le module.	`SigFox.end();`	néant	néant

Listage 1. Lecture des paramètres du modem Sigfox

```
// Sigfox-Modem/Lib. Activation et initialisation
  if (!SigFox.begin())
  {
    Serial.println("Modem Sigfox introuvable ! -
       RESET pour continuer !");
    while (1);  // Dans ce cas : boucle sans fin
  }
  else
  {
    Serial.println("Modem Sigfox OK !\n");
  }


  // Version de progiciel, ID, PAC et Temp du
  // modem et sauvegarde
  String version = SigFox.SigVersion();
  String ID = SigFox.ID();
  String PAC = SigFox.PAC();
  float temp = SigFox.internalTemperature();

  // Envoyer à la console l'information
  // sur le modem
  . . .

  SigFox.end(); // Le retard va se coucher
```

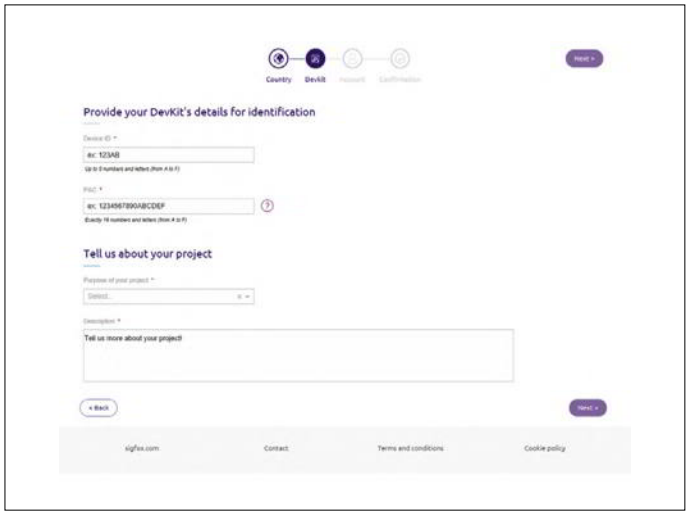


Figure 7. Enregistrement du MKR FOX 1200 sur l'infrastructure Sigfox (I).

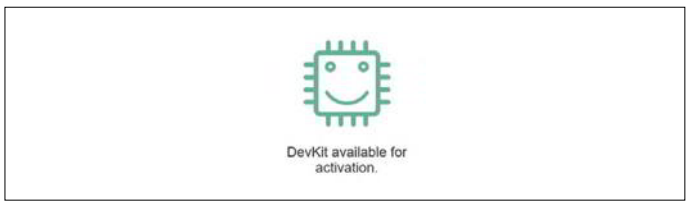


Figure 8. Identifions et PAC corrects. Continuons...

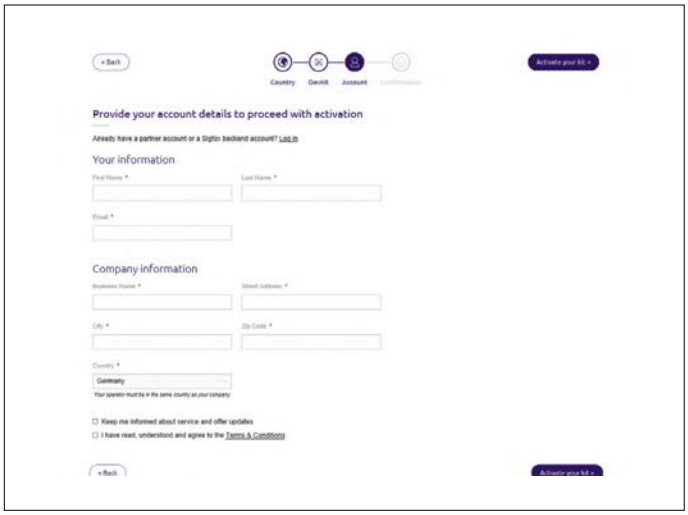


Figure 9. Enregistrement du MKR FOX 1200 sur l'infrastructure Sigfox (II).

Configuration du modem Sigfox

Nous n'expliquerons que les parties centrales de l'opération Sigfox à partir de notre croquis bien documenté. Dans un premier temps, l'identification du MKR FOX 1200 dans le réseau Sigfox – plus précisément dans l'infrastructure Sigfox — est nécessaire. Cela nécessite l'ID et le numéro PAC du modem Sigfox. Ces deux informations, propres à chaque unité Sigfox et stockées en permanence dans le modem, peuvent y être lues facilement.

Téléchargez maintenant notre croquis de démo et sélectionnez l'élément de menu 1, dont la fonction principale est expliquée dans le **listage 1**. Le modem et la bibliothèque Sigfox sont d'abord activés et initialisés avec `Sigfox.begin()`. Toutes les erreurs qui pourraient survenir sont affichées. Les informations requises sont ensuite lues avec les fonctions Sigfox appropriées, stockées dans des variables et finalement produites sur le moniteur série avec l'instruction `Serial.println`. La lecture de la version du progiciel et de la température interne du modem n'est ni inintéressante ni obligatoire. Avec le dernier appel de fonction `SigFox.end()`, la bibliothèque Sigfox se désinstalle, le modem Sigfox est désactivé et passe en mode économie d'énergie.

Les numéros d'identification et les numéros PAC ainsi déterminés et notés sont (exemples) :

`ID = 00123456` (toujours 8 chiffres)
`PAC = 1234567890abcdef` (toujours 16 chiffres)

Enregistrement de MKR FOX 1200 sur Sigfox

Maintenant, notre carte MKR FOX 1200 doit être enregistrée dans l'infrastructure [**3**]. Sur la page d'accueil, remplissez les champs nécessaires (**fig. 7**) et cliquez sur le bouton Suivant en bas à droite. Les données ID et PAC seront vérifiées. Si tout va bien, vous obtiendrez des commentaires amicaux (**fig. 8**). Cliquez de nouveau sur le bouton Suivant et passez à la deuxième fenêtre d'activation (**fig. 9**). Remplissez les champs et cliquez sur le bouton Activer votre kit dans le coin inférieur droit. S'il n'y a pas eu de faute de frappe, vous recevrez une confirmation de votre inscription (**fig. 10**).

Figure 10. Enregistrement du MKR FOX 1200 sur l'infrastructure Sigfox (III).

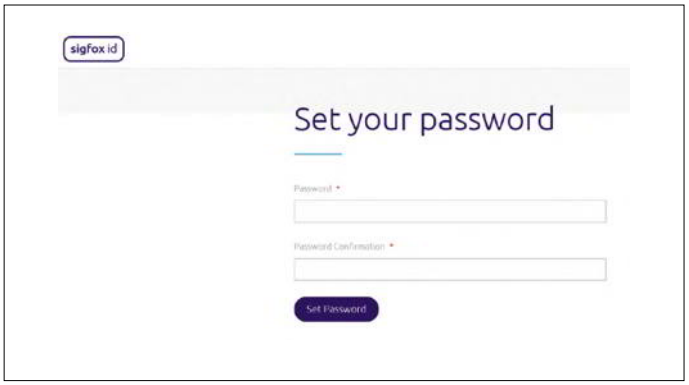


Figure 12. Attribution du mot de passe.

Figure 11. Courriel de confirmation.

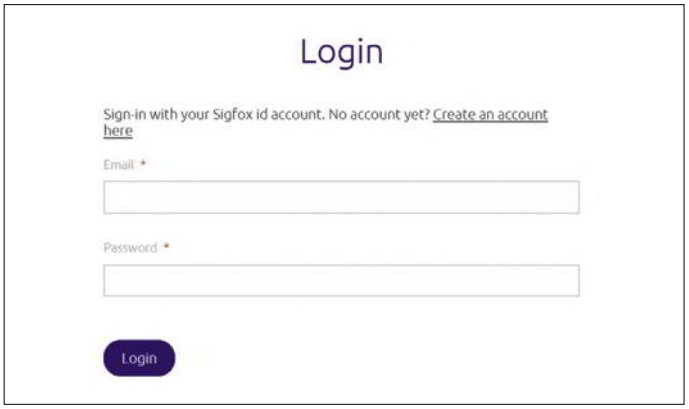


Figure 13. Saisie des données de connexion.

L'activation de la carte MKR FOX 1200 ne sera pas terminée tant que la carte n'aura pas envoyé son premier message à l'infrastructure Sigfox (sujet traité dans le prochain article). Ce n'est qu'ensuite que l'appareil est reconnu et activé dans le réseau Sigfox, et vous pouvez télécharger gratuitement vos 140 messages de 12 octets par jour pendant un an (quatre messages de 8 octets par jour peuvent être reçus comme téléchargement, par exemple pour une configuration à distance). Avant de fermer la page, ça vaut la peine de consulter les vidéos du tutoriel Sigfox maintenant ou plus tard sur YouTube [**4**][**5**][**6**]. Vous devriez avoir reçu une confirmation à l'adresse e-mail fournie (**fig. 11**). Vous devez utiliser ce message pour attribuer un mot de passe pour vous connecter au *backend* Sigfox. Cliquez sur le champ *SET YOUR SIGFOX ID PASSWORD* pour que le masque de saisie apparaisse (**fig. 12**).
Remplissez les champs comme d'habitude et entrez vos données de connexion dans la fenêtre suivante (**fig. 13**). Après avoir cliqué sur *Login*, le profil créé s'affiche. La procédure de connexion à l'infrastructure Sigfox est terminée ! Déconnectez-vous en haut à droite de la fenêtre (Profils & Paramètres) et soyez patient. La prochaine fois nous programmerons l'Arduino et ferons nous nous aventurerons sur le réseau Sigfox ! ⏮

(190281-B-02 VF)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Arduino MKR FOX 1200
www.elektor.fr/19096

→ Antenne 868 MHz pour Arduino
www.elektor.fr/19095

Liens

[1] Couverture géographique de Sigfox: www.sigfox.com/en/coverage

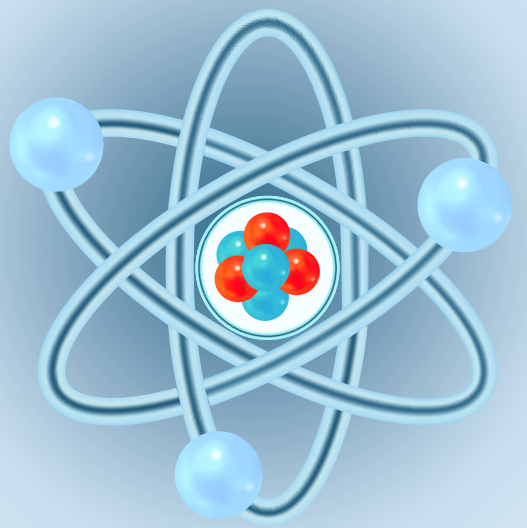
[2] La page de ce projet : www.elektormagazine.fr/190281-B-01

[3] Inscription sur Sigfox : https://buy.sigfox.com/activate/devkit/FR

[4] Vidéo de présentation de Sigfox: www.youtube.com/watch?v=6ZBGDtmDGRU

[5] Vidéo : Sigfox Cloud Interfaces : www.youtube.com/watch?v=7gTwFbiiJwE

[6] Vidéo : Add a Callback : www.youtube.com/watch?v=dDNY-xAxECE



démarrer en électronique

... est plus facile qu'on ne l'imagine !

Eric Bogers

L'électronique est un passe-temps fascinant, mais pour avoir une chance raisonnable de succès, quelques connaissances élémentaires sont indispensables, sinon votre fer à souder risque de vous décevoir.
Vous pouvez démarrer avec le premier kit de bricolage venu avec le fer à souder de votre oncle et puis parier ferme pour que les dieux de l'électronique vous protègent. Si quelque chose devait tourner mal....

... c'est une bonne chose que vous ayez acheté, emprunté, volé ou obtenu par d'autres voies le numéro d'Elektor que vous lisez. Désormais, dans chaque édition, nous reviendrons sur les principes de base de l'électronique, sur lesquels vous pouvez vous appuyer pour vos loisirs et votre formation. Quant aux gens du métier qui se disent je-sais-tout-ça, soit vous sautez ces pages, soit vous les lisez en douce, car il y a toujours quelque chose à apprendre.

Définitions

Tout d'abord, mettons-nous d'accord sur la définition de certains éléments de la physique appliquée et plus précisément du génie électrique. Plus ces bases seront robustes et sans lacunes, plus le tronc de vos connaissances en électronique pourra pousser haut et loin les branches de votre savoir.

Charges élémentaires

Tant en électronique qu'en électrotechnique, tout est affaire d'électrons. Tous les éléments chimiques sont constitués d'atomes, à leur tour constitués d'un noyau (qui représente presque toute la masse) et d'électrons en orbite, dont le nombre détermine les propriétés chimiques et caractérise l'élément en question.
Les électrons ont une charge négative indivisible appelée charge élémentaire e, qui peut s'écrire ainsi :

$$e = 1{,}6021892 \cdot 10^{-19}\ [C]$$

Charge

Le C ci-dessus est celui de *coulomb*, l'unité de charge électrique : [C]. Avant de poursuivre, rappelons qu'une **quantité** est toujours mesurable, peu importe la méthode. La longueur ou la température, par exemple. L'**unité** exprime la valeur de cette **grandeur** mesurée. Dans le cas de la longueur, p. ex. l'unité est le mètre, écrite [m].
Le coulomb 'C' a été défini comme l'unité de quantité de charge Q, à savoir

$$1\ C = 6{,}2414601 \cdot 10^{18}\ e$$

À une époque où la charge élémentaire ne pouvait pas encore être mesurée, il a été convenu qu'un coulomb équivaudrait à un ampère-seconde : si un courant d'1 A circule pendant 1 s, alors une charge d'un coulomb est acheminée à travers un fil. Remarquez que le nom de nos unités est toujours écrit en **minuscules**, mais abrégé en une seule lettre généralement **majuscule**. Un coulomb, c'est donc 1 C. Et on laisse un blanc entre le dernier chiffre et l'unité. Comme ces unités ne sont plus des noms propres mais des noms communs, ils s'accordent : 1 volt, 2 volts etc.

Courant

La définition officielle du courant électrique (unité : ampère, en abrégé A) est une relique avec laquelle nous ne vous embêterons pas. Nous dérivons le courant électrique de la charge électrique :

$$1\ A = 1\ C\ s^{-1}$$

En mots cela donne : un ampère est un courant de 6,2414601 fois 1018 électrons par seconde.

Tension

Ce courant circule dans un fil ou un autre conducteur… mais pourquoi au fait ? C'est comme l'eau qui coule par l'effet d'une force de propulsion résultant elle-même d'une différence de pression (pompe) ou d'une différence de hauteur. Avec le courant électrique, la force de propulsion est une différence de

charge (ou de potentiel) entre deux points. C'est cette différence qui est appelée tension. L'unité de tension est le volt (V). Une tension est toujours mesurée entre deux points.

La tension est définie indirectement : lorsqu'un courant d'un ampère circule dans un conducteur et qu'une puissance d'un watt est convertie en chaleur dans ce conducteur, il y a une tension d'un volt aux bornes de ce conducteur.
En chiffres :

1 W = 1 V × 1 A

Puissance
Ce qui nous conduit à la définition de l'énergie électrique. Auparavant, signalons la distinction entre puissance et «travail». Pour faire cuire un œuf, il faut porter l'eau à ébullition et la maintenir à cette température, ce qui correspond à une certaine quantité de «travail» pendant un certain temps. Le travail est mesuré pendant une temps donné, p. ex. 8 minutes si vous les aimez durs. La puissance est le même travail par unité de temps, par exemple par seconde.
Quand on parle d'électricité et d'électrons, la puissance est définie comme le produit du courant et de la tension. L'unité de puissance électrique est le watt (W).

Symboles
Pour l'usage pratique que nous faisons de ces grandeurs, il nous faut des notions faciles à formuler et à manipuler. De la même manière que nous utilisons des symboles pour désigner les composants (R10 pour désigner « la résistance numéro 10 »), nous utilisons des symboles et des valeurs chiffrées pour le courant (*I*), la tension (*V* ou *U*) ou la puissance (*P*), tous en italiques si l'on veut se conformer aux règles.

Quantité	Unité	Symbole de l'unité
charge	coulomb (C)	Q
courant	ampère (A)	I
tension	volt (V)	U
puissance	watt (W)	P

Oui, tout ceci est assez théorique pour commencer, mais dès le prochain épisode, nous calculerons et ça deviendra plus concret. ⏮

(191166-02 VF)

@ WWW.ELEKTOR.FR

→ L'électronique pour les débutants
www.elektor.fr/l-electronique-pour-les-debutants

→ L'électronique en pratique
www.elektor.fr/l-electronique-en-pratique

→ The Art of Electronics
www.elektor.com/the-art-of-electronics-3rd-edition

AGENDA

Un événement oublié ?

Vous organisez une conférence, un salon… ou bien vous participez à un séminaire ou tout autre événement qui aurait sa place ici, partagez cette information avec tous les lecteurs. Envoyez-nous tous les détails à **redaction@elektor.fr**.

janvier 2020

- **Salon de la plongée sous-marine**
  10 au 13/01 – Paris
  www.salon-de-la-plongee.com/fr/accueil.html
- **BRUSSELS INTERNATIONAL MOTOR SHOW 2020**
  10 au 19/01 – Bruxelles
  www.autosalon.be/fr
- **Salon du travail et de la mobilité professionnelle**
  16 au 18/01 – Paris
  www.salondutravail.fr
- **Semaine du son - 17e édition**
  20/01 au 02/02 – Paris et partout en France
  www.lasemaineduson.org
- **47e congrès de la mobilité intelligente**
  22 au 23/01 – Paris
  congres.atec-its-france.com
- **Salon de la Radio & de l'Audio Digital**
  23 au 25/01 – Paris
  www.salondelaradio.com
- **Vivez Nature**
  24 au 27/01 – Paris
  www.vivez-nature.com
- **SEPEM Industries Nord**
  26 au 28/01 – Douai
  douai.sepem-industries.com
- **Forum international de la cybersécurité**
  28 au 30/01 – Lille
  www.forum-fic.com
- **Biogaz Europe**
  29 au 30/01 – Nantes
  www.biogaz-europe.com
- **47e Festival Int. de la Bande Dessinée**
  30/01 au 02/02 – Angoulême
  www.bdangouleme.com

février 2020

- **Cidisc** - Convention Internationale du Disque de Collection
  01 au 02/02 – Paris
  www.jukeboxmag.com
- **C!PRINT** – Salon international des professionnels de l'impression numérique & textile et de la personnalisation
  04 au 06/02 – Lyon
  salon-cprint.com
- **15th European Advanced Technology Workshop on Micropackaging and Thermal management**
  05 au 06/02 – La Rochelle
  france.imapseurope.org/event/thermal-2020
- **21e Colloque Annuel du Syndicat des Energies Renouvelables**
  06 au 07/02 – Paris
  ser-evenements.com/21eme-colloque-annuel-du-ser
- **Salons des entrepreneurs**
  05 au 06/02 – Paris
  www.salondesentrepreneurs.com
- **Retromobile**
  05 au 09/02 – Paris
  www.retromobile.fr
- **Mondial des métiers**
  06 au 09/02 – Lyon
  www.mondial-metiers.com
- **SEPEM Industries**
  11 au 13/02 – Grenoble
  grenoble.sepem-industries.com
- **Techinnov**
  27/02 – Paris
  techinnov.events
- **JAPAN EXPO SUD** - Festival des loisirs japonais
  28/02 au 01/03 – Marseille
  www.japan-expo-sud.com/fr
- **PARIS MANGA & SCI-FI SHOW**
  07 au 08/03 – Paris
  www.parismanga.fr

retour des petits circuits

...et des bonnes petites idées de projets Elektor

Eric Bogers

Les messages de nos lecteurs sont précieux, qu'ils expriment des louanges ou qu'ils soient critiques. L'une des déplorations récurrentes ces dernières années concerne la disparition du numéro d'été double, avec sa ribambelle de « petits » circuits, ses conseils, ses astuces et tant d'informations dont sont friands les électroniciens de tout plumage. Bonne nouvelle : nous allons répondre à cette fringale !

Relais éco-énergétique

D'après une idée de **Michael A. Shustov** (Russie) et **Andrey M. Shustov** (Allemagne)

Les circuits à relais décrits ici peuvent être connectés en série avec une charge (lampe) et une série de boutons poussoirs fermés au repos. Lorsque l'un de ces interrupteurs est actionné, la lampe s'allume pendant un certain temps. Une fois ce temps écoulé, la lampe s'éteindra automatiquement.
Cela ressemble un peu au circuit classique du va-et-vient [**1**] bien connu parce qu'il nous permet d'allumer dans une cage d'escalier ou un couloir en appuyant sur un bouton, et de l'éteindre en appuyant sur un autre bouton. À ceci près que les circuits décrits ici s'éteignent automatiquement et sont en principe beaucoup plus économes en énergie.

Variante 1

La première variante (**fig. 1**) n'est pas difficile à comprendre. Le circuit alimenté par une source de 12 V_{CC} (batterie, bloc d'alimentation) est à la portée d'un débutant qui pourra l'assembler en toute sécurité. Immédiatement après la mise sous tension du circuit, le condensateur C1 est chargé par la lampe LA1 et la diode D1 à travers les boutons-poussoirs S1...Sn fermés au repos et montés en série (nous n'en avons dessiné que trois). La lampe restera allumée pendant un certain temps. La LED1 indique que le circuit est armé. Pour info : l'intensité du courant qui circule dans la lampe au repos est trop faible pour qu'elle s'allume.

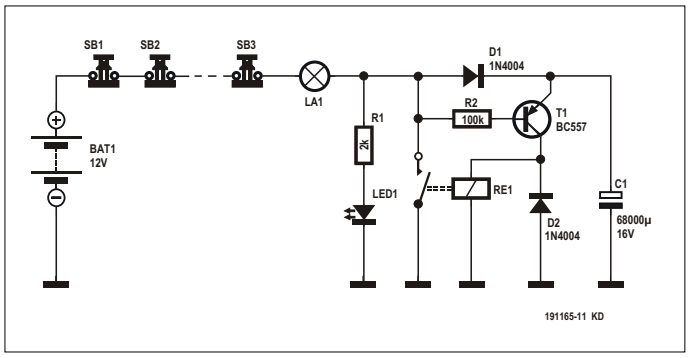


Figure 1. La variante simple contient un relais électromécanique.

Dès que l'un des poussoirs est actionné, le courant ne peut plus circuler dans C1 à travers D1. La base du transistor T1, maintenue au potentiel + de l'alimentation par la lampe, est maintenant mise à la masse par la résistance R1 et la LED1. Le transistor conduit et le condensateur C1 se décharge vers la masse à travers la bobine du relais. Le relais est excité et, à travers le contact du relais, il circule maintenant un courant d'une intensité suffisante pour maintenir la lampe allumée. Le courant de charge de C1 est interrompu.
Après un certain temps, la décharge du condensateur est telle que le relais ne peut plus rester excité. Le contact du relais s'ouvre et la situation initiale est rétablie (à supposer que le poussoir n'est pas maintenu enfoncé).
Pour la durée *t* pendant laquelle la lampe reste allumée, la relation approximative suivante s'applique :

$t = 0{,}67 \times R_{relais} \times C1$ [secondes, ohms, farads]

La bobine du modèle de relais mentionné présente une résistance de 1050 Ω ; pour un modèle G6DS, elle est de 1200 Ω. Avec ce deuxième modèle de relais et un condensateur de 68.000 µF, la temporisation sera de l'ordre de 40 s.
La valeur de R1 doit être telle que le courant à travers la LED1 soit d'une intensité juste assez grande pour qu'elle s'allume faiblement. La valeur mentionnée suffit généralement, mais il y a de la marge.
Attention : ce circuit ne doit **PAS** être utilisé pour des lampes branchées sur le secteur !

Variante 2

Dans cette version (**fig. 2**), le relais électromécanique est remplacé par un MOSFET 2N7075 ou 2N7085 qui joue le rôle de commutateur. Cette fois la temporisation est réglable à l'aide d'un potentiomètre (R3). À 1 kΩ correspond une durée d'allumage d'environ une seconde, ce qui signifie qu'avec la valeur de 50 kΩ indiquée, on aura une plage de 1 à 50 secondes.
Le grand avantage de la version sans relais est l'utilisation d'un condensateur beaucoup plus petit pour C1. La reproductibilité du circuit s'en trouve améliorée. Le courant maximum

commutable est d'environ 30 A pour le 2N7075 et 20 A pour le 2N7085 (à condition que leur refroidissement soit suffisant). Comme la précédente, cette version ne convient qu'aux applications sous basse tension à courant continu et ne doit jamais être utilisée pour des lampes raccordées à la tension secteur.

Variante 3

Pour pouvoir commander des lampes avec la tension du secteur (50 ou 60 Hz), la tension alternative plus élevée impose de repenser complètement la conception. Le fait que le circuit sera connecté au réseau électrique alternatif exige également une sélection minutieuse des composants et un assemblage encore plus soigneux !

Parmi les possibilités pour commuter les tensions alternatives il y a les relais électromécaniques, et un composant spécial appelé *triac*. Pour simplifier, on peut imaginer un triac sous la forme de deux *thyristors* montés tête-bêche, ou en antiparallèle. Et un thyristor peut être vu comme une diode qui se met à conduire (dans un seul sens) en réponse à l'application d'une tension d'amorçage sur sa gâchette, et qui ensuite continue de conduire tant qu'il y circule du courant.

L'interrupteur marqué SB1-SBn (**fig. 3**) représente en fait plusieurs interrupteurs du circuit va-et-vient montés en série et tous fermés au repos. En mode veille, tant qu'aucun des interrupteurs SB1-SBn n'est actionné, un faible courant circule dans la lampe, C1, R2 et D1 ni dans la résistance R1, de sorte que la LED1 s'allume. Par D1 et D3, C3 est chargé à une tension légèrement inférieure à la tension zener fixée par D2 (c'est-à-dire 13 V moins deux fois le seuil de conduction de D1 et D3). La base du transistor PNP T1 est donc portée à un potentiel plus positif que son émetteur. Ce transistor est donc bloqué, de sorte qu'aucun courant ne circule à travers R6 et TRI1.

Si l'un des boutons poussoirs montés en série est pressé brièvement puis relâché, T1 commence à conduire, car sa base est portée au potentiel de la masse à travers R1 et la LED1. Maintenant, le courant circule de C3 à travers T1 et R6 dans la gâchette (*gate*) du triac, lequel commute par conséquent. Ainsi, la lampe s'allume, ce qui empêche aussi toute tension de s'établir sur D2 qui alors bloquerait T1.

Avec une capacité de 10.000 µF pour C3, le triac reste conducteur pendant environ 27 secondes (à raison d'un peu moins de 3 s pour 1.000 µF). Dès que l'intensité du courant devient trop faible pour maintenir le triac en état de conduire, la lampe s'éteint et après quelques secondes, quand C3 est rechargé, l'état initial est restauré.

Construction

Les variantes basse tension peuvent être montées sur plaque d'essais perforée, mais pas la troisième version pour laquelle il faut un vrai circuit imprimé avec un écart d'au moins 6 mm entre les pistes. C'est possible aussi sur une plaque perforée, à condition de gratter toutes les pastilles inutilisées entre les soudures, de façon à garantir la distance de sécurité. Attention, dans la troisième version, il règne des potentiels dangereux sur tous les composants. Ce circuit doit être entièrement encapsulé dans un boîtier isolant. Et on ne touche à rien quand il est sous tension !

Vous pouvez omettre la LED dans les trois variantes, mais R1 doit rester dans le circuit, la LED étant alors remplacée par un simple fil. Sans LED, la valeur de R1 est de l'ordre de 2 à 20 kΩ. Ces circuits ne doivent être montés et utilisés que dans des conditions de parfaite sécurité. Toutes les consignes pour les installations sous tension du réseau domestique doivent être respectées. ◀

(190165-02 VF)

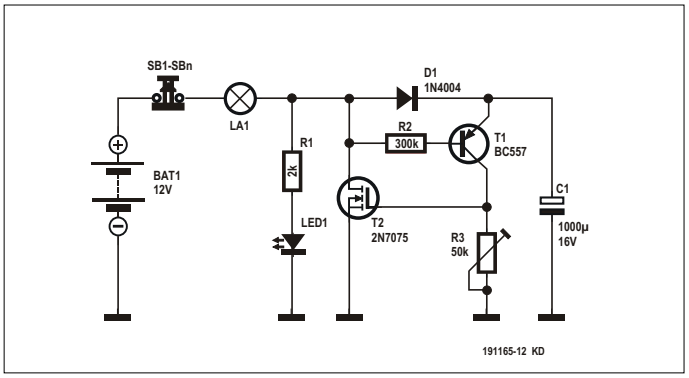


Figure 2. La variante transistorisée n'est pas compliquée.

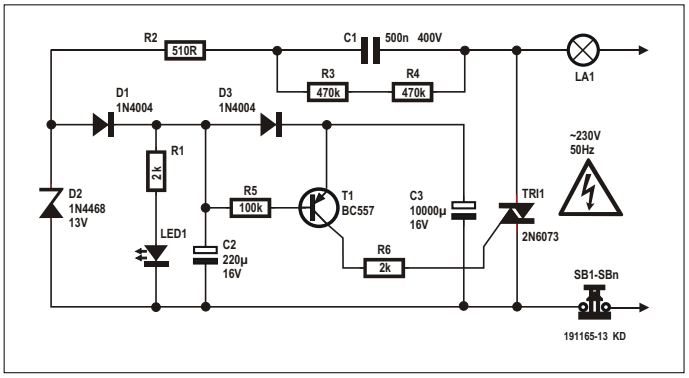
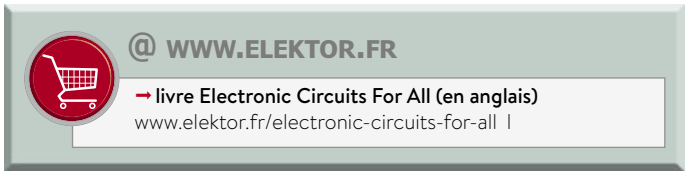


Figure 3. Ce circuit sous 230 V n'est pas compliqué mais dangereux. Toutes les parties conductrices doivent être hors d'atteinte !



Liens et litérature

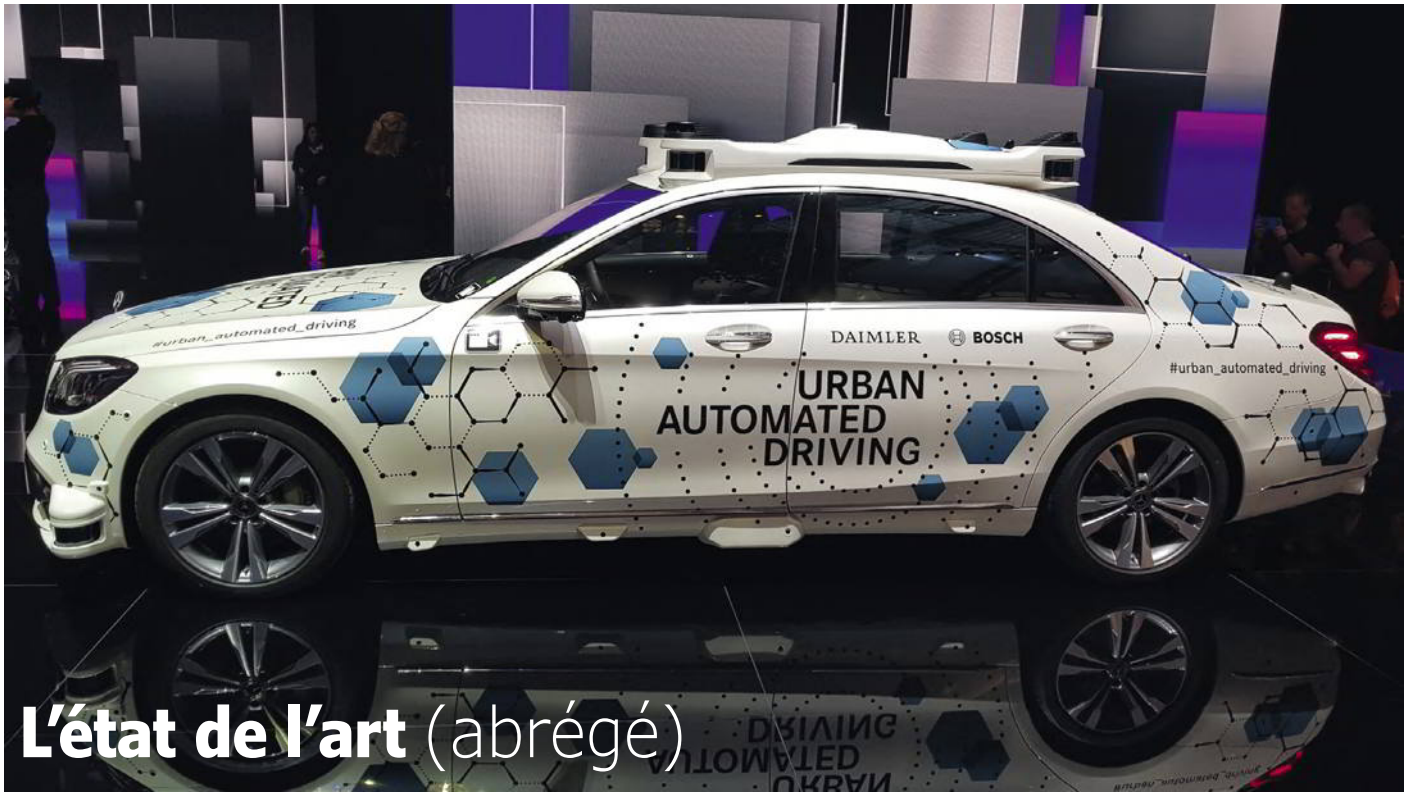
[1] Commande de lumière à commutateurs multiples : Elektor mai 2014 p.42: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201405/26459

[2] Commande de va-et-vient : https://fr.wikipedia.org/wiki/Montage_va-et-vient

[3] Triac : https://fr.wikipedia.org/wiki/Triac

[4] Thyristor : https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyristor

véhicules autonomes : où nous mènent-ils ?



L'état de l'art (abrégé)

(Source : Viacheslav Gromov, IAA)

Viacheslav Gromov (Allemagne)

La conduite autonome est à la mode et ça fait des gros titres américains avec des accidents graves impliquant le pilote automatique. Tandis que les grands constructeurs d'automobiles européens cherchent à s'allier pour rester compétitifs, en Chine et en Finlande, les bus autonomes sont en route. Où en sommes-nous aujourd'hui ? Que recherchons-nous en matière de mobilité et quels sont les défis sociétaux ?

La conduite autonome est à la mode et ça fait des gros titres américains avec des accidents graves impliquant le pilote automatique. Tandis que les grands constructeurs d'automobiles européens cherchent à s'allier pour rester compétitifs, en Chine et en Finlande, les bus autonomes sont en route. Où en sommes-nous aujourd'hui ? Que recherchons-nous en matière de mobilité et quels sont les défis sociétaux ?

L'assistance informatique dans les véhicules, telle que nous la connaissons aujourd'hui p. ex. sous forme d'alerte de changement de voie, a une longue histoire technologique, passionnante dès le début. Dès 1914, des avions bénéficiaient d'une stabilisation assurée par un pilote automatique gyroscopique, probablement le premier jalon de l'automatisation des commandes. Plus tard, les véhicules autonomes (appelés VA dans la suite de cet article) ont été conçus à des fins militaires (p ex. pour la détection de mines). En matière de prospective automobile, nous raffolons de visions spectaculaires, qui nous feront hausser les épaules quelques décennies plus tard. Témoin le modèle filoguidé de la **fig. 1** [1].

Promesses

En 2019, les arguments de poids en faveur de la conduite autonome sont les suivants : sécurité (une erreur humaine est à l'origine d'environ 90 % des accidents), confort, mobilité totale pour tous et délestage des axes de circulation avec une meilleure efficacité environnementale.
En matière de sécurité, souvent considérée comme l'argument primordial, on considère que les VA réduisent les causes relativement fréquentes d'accidents causés par les humains (inattention, alcool...) grâce aux procédés C2X (j'y reviens ci-dessous), tandis que seul un nombre réduit de nouveaux scénarios d'accidents apparaissent avec les VA, suite par exemple à des erreurs de calcul ou à des actes de piratage. Cependant, la

preuve irréfutable de cette sécurité accrue reste à administrer. Pour l'instant, les discussions continuent donc d'aller bon train, d'autant que le sujet interpelle aussi les sciences humaines.
Avec un VA, le permis de conduire n'est plus requis, de sorte que des groupes sociaux aujourd'hui exclus de la circulation automobile pourraient désormais utiliser un tel VA. Dans les zones rurales p. ex., des minibus pourraient être appelés directement par des usagers.
Quant à l'allègement du trafic, avec une couverture du marché de 50 % et 90 % par les VA, des études prévoient une augmentation possible de l'utilisation des routes de respectivement 21 % et 80 % **[2]**. L'efficacité énergétique peut être augmentée de près de 40 %, par un meilleur contrôle du flux de trafic avec moins de freinages et d'accélérations, et une régulation des vitesses plus contraignante. Selon certains calculs, sur un trajet donné, une réduction de vitesse peut se traduire par un temps de parcours plus court.

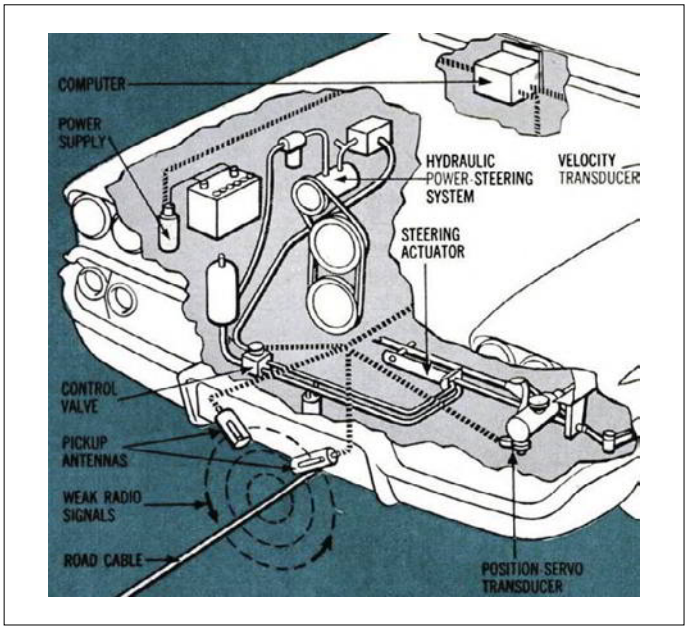


Figure 1. Un prototype de *General Motors*, basé sur la Chevrolet 58 et équipé de deux antennes près du sol. En 1958, le véhicule est « autonome » sur une piste d'essai, en fait il est filoguidé (source : *Popular Science* 05/1958).

Automatisation : concepts et degrés

Également prometteuses sont les technologies corrélées de communication de véhicule à véhicule (C2C) ou de véhicule à infrastructure (C2I). On parle aussi, selon les variantes, de C2X, avec le V de véhicule ou le C de c(h)ar. Les véhicules peuvent communiquer entre eux, p. ex. pour anticiper sur les embouteillages ; ou interagir avec l'infrastructure, ce qui pourrait se traduire par la suppression des panneaux de signalisation visibles et une optimisation des cycles de commutation des feux tricolores, et même leur complète élimination.
Les niveaux d'automatisation du véhicule sont définis comme le montre la **fig. 2.** C'est aux systèmes de niveau 1 désormais courants, tels que l'ABS et l'ESP, que l'on attribue, en partie au moins, la baisse du nombre de tués sur les routes ces dernières années. Les véhicules actuels peuvent déjà être équipés de systèmes semi-autonomes de niveau 2, tels que l'alerte de changement de voie ou l'assistant en cas de congestion. Le célèbre *Autopilot* de *Tesla* relèverait du niveau 3.
Outre les niveaux d'automatisation, les cas d'utilisation, c'est-à-dire les *modèles de mobilité*, doivent également être pris en compte. Pour les niveaux d'automatisation ci-dessus, de nombreux concepts sont envisageables. À commencer par un service de voiturier autonome : vous conduisez vous-même la voiture jusqu'au parking du centre commercial, vous la quittez pour faire vos courses tandis qu'elle cherche elle-même une place pour se garer. Plus ambitieux serait le véhicule à la demande : selon le prix, vous seriez transporté seul ou avec d'autres par une voiture que vous appelez depuis une application sur votre téléphone.
Avec ces nouveaux concepts de mobilité s'estompe la notion de véhicule individuel. En plus des effets positifs mentionnés, le VA idéal ne resterait pas à l'arrêt 23 h par jour, mais serait d'un usage intense, varié et flexible. À quoi s'ajoute un argument économique : selon les estimations, les systèmes redondants de niveau 5, coûteux en dépit de la production en série, resteraient donc inabordables pour la plupart d'entre nous. Les grands groupes automobiles deviendraient aussi prestataires de services de mobilité.
Essayons maintenant d'expliquer sommairement la technique d'un VA.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/ Deceleration	*Monitoring* of Driving Environment	Fallback Performance of *Dynamic Driving Task*	System Capability *(Driving Modes)*
***Human driver* monitors the driving environment**						
0	No Automation	the full-time performance by the *human driver* of all aspects of the *dynamic driving task*, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the *driving mode*-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the *driving mode*-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/ deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	**System**	Human driver	Human driver	Some driving modes
***Automated driving system* ("system") monitors the driving environment**						
3	Conditional Automation	the *driving mode*-specific performance by an *automated driving system* of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the *human driver* will respond appropriately to a *request to intervene*	System	**System**	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the *driving mode*-specific performance by an automated driving system of all aspects of the *dynamic driving task*, even if a *human driver* does not respond appropriately to a *request to intervene*	System	System	**System**	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task* under all roadway and environmental conditions that can be managed by a *human driver*	System	System	System	**All driving modes**

Figure 2. Les cinq niveaux d'automatisation brièvement définis (source : SAE International J3016).

Ça nous mènera loin

La première étape (aussi la plus critique pour les humains au volant) est la **perception**. L'environnement du véhicule doit être modélisé le plus précisément possible. Caméra, radar et lidar se

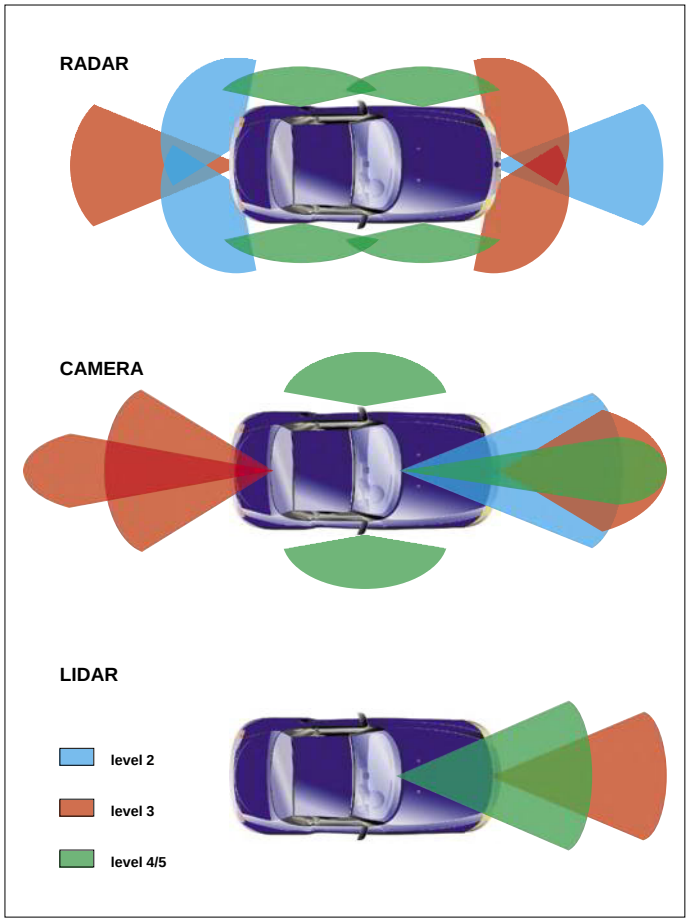


Figure 3. Selon *Infineon*, l'augmentation du nombre de capteurs avec des niveaux d'automatisation croissants pourrait ressembler à ceci. D'autres capteurs, p. ex. à ultrasons, ne sont pas pris en compte ici (source : Infineon).

complètent et jouent un rôle central dans tout VA. Exemple : la caméra est le seul moyen courant de reconnaître les couleurs et les feux de circulation conventionnels, mais le radar détecte des objets avec précision, même par mauvaise visibilité. Afin de tirer de chaque situation le meilleur parti possible, on utilise la *fusion des données des capteurs* qui consiste à pondérer les données selon le contexte et les circonstances instantanées, de sorte que les informations soient fiables.

La **fig. 3** montre un exemple de la façon dont les trois principaux types de capteurs sont utilisables en fonction du niveau d'automatisation. Selon le fabricant et la phase de développement, les spécifications varient considérablement. Les cônes des capteurs radar et lidar vont, dans l'axe du faisceau, de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. La résolution angulaire et donc la quantité totale de données sont également décisives. Avec les caméras HD courantes, des focales grand-angulaires de 6 à 25 mm sont généralement possibles. L'utilisation de caméras stéréoscopiques n'est pas rare non plus. Pour qu'il puisse être question de perception, il faut aussi estimer les mouvements à venir des objets (p. ex. la trajectoire d'un autre véhicule) au moyen de tous les vecteurs nécessaires. Cette **prédiction** est une tâche très exigeante au cours de laquelle sont prises en compte diverses hypothèses probables. Un exemple de prédiction apparaît sur la **fig. 4.** *Apollo* est une plateforme ouverte pour VA du géant chinois *Baidu* à laquelle se sont associés certains géants occidentaux de l'automobile. Le projet est sur *Github* **[3]**.

La perception implique aussi un classement correct des *objets*. Ici ces objets sont les usagers de la route ainsi que les panneaux de signalisation, les feux de signalisation, le marquage routier, les obstacles et bien davantage. Une technique de classification utile est la segmentation sémantique, qui sépare les zones de certaines classes (en couleurs sur la **fig. 5**). Cette segmenta-

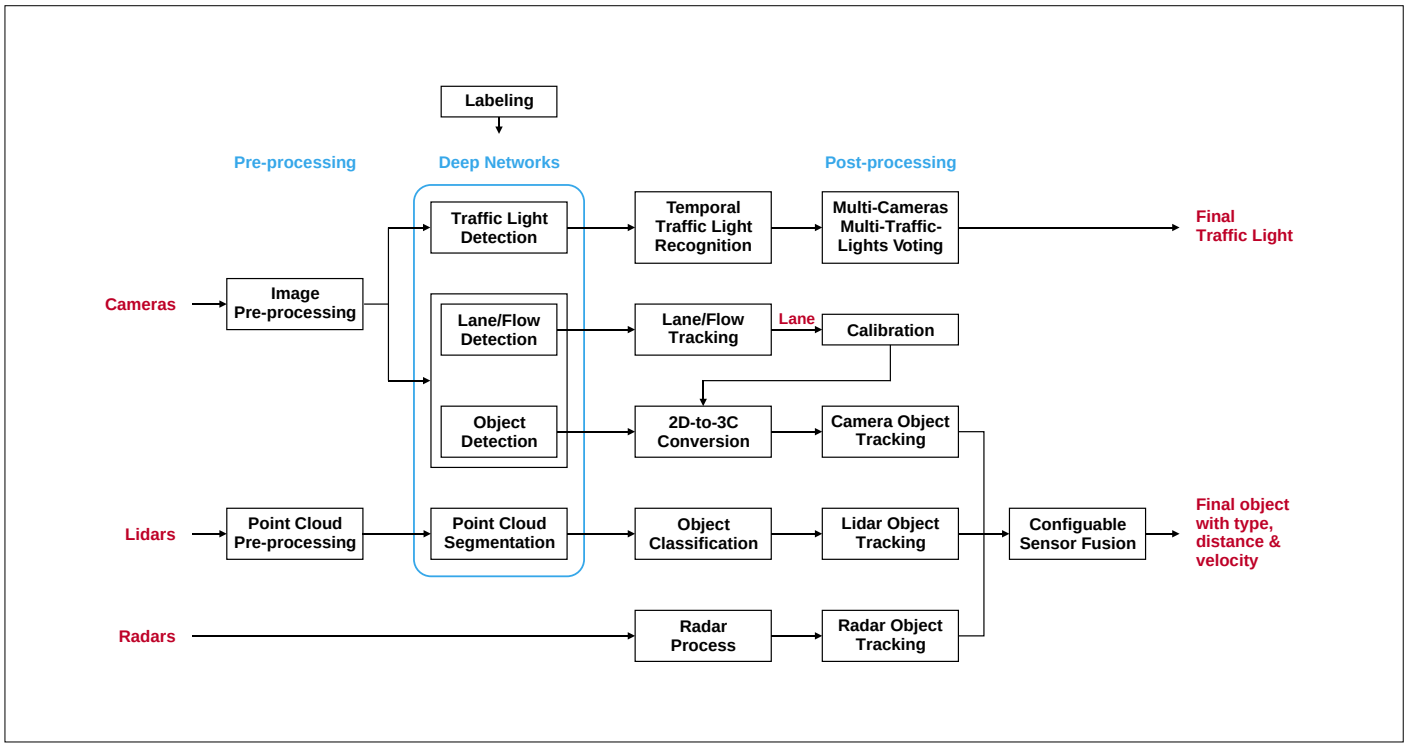


Figure 4. La structure de l'unité de perception d'*Apollo*. La reconnaissance d'objets avec des données métriques et la reconnaissance de feux tricolores s'effectuent le plus souvent en parallèle (source : Apollo).

Figure 5. Deux types de classification courants : segmentation sémantique à gauche et reconnaissance d'objets à droite (à gauche avec l'autorisation de MathWorks, à droite avec l'aide de Rolf Gerstendorf).

tion est utile pour la détection des routes et pour l'estimation de la surface des autres objets. L'apprentissage machine et en particulier les réseaux de neurones artificiels se prêtent bien à la classification grâce à leur robustesse et à leur aptitude pour la reconnaissance de formes. Trois incertitudes doivent être prises en compte lors de la classification des objets : *l'incertitude d'état* résultant d'erreurs de mesure des capteurs, *l'incertitude d'existence* avec la question de l'existence de l'objet reconnu et *l'incertitude de classe*, qui concerne l'exactitude de la classe attribuée. Surtout pour le dernier point, l'estimation approximative et la prise en compte de l'incertitude sont plutôt complexes.

Une autre tâche perceptive est la **localisation** du véhicule dans son environnement. Afin de trouver une réponse au centimètre près à la question *où suis-je ?*, les données métriques (objet) obtenues à partir de la perception sont généralement comparées à une carte à haute résolution (HD) stockée (**fig. 6**). On utilise notamment les méthodes de comparaison des nuées de points mesurés, connues de la robotique. En termes simples, cela signifie que les différences sont minimisées ou que certains objets typiques (repères) sont reconnus lorsque les données du capteur centré sur le véhicule d'origine sont superposées sur la carte. Bien entendu, les données de positionnement GPS ainsi que les données de mouvement de l'unité de mesure inertielle (IMU) interne sont également utilisées. Pour estimer l'état, même en cas d'inexactitudes (ou biais) ou d'absence totale de données de capteurs, on utilise des filtres de Kalman (étendus) et d'autres méthodes (*fusion des données* des capteurs, *hybridation* de capteurs) dont le principe consiste à combiner ce que l'on *observe* à ce que l'on *sait* déjà.

La solution de la carte HD interne est à double tranchant. D'une part, elle permet une identification, une localisation et une planification rapides et efficaces. Les informations obtenues à partir de la carte permettent d'utiliser plus efficacement les algorithmes de reconnaissance des panneaux de signalisation ou des feux de circulation, car les informations obtenues à partir de la carte peuvent être utilisées pour les aligner sur une seule *région d'intérêt* (ROI) du champ du capteur. Un gros inconvénient est la taille et le degré d'actualité de la carte. Avec

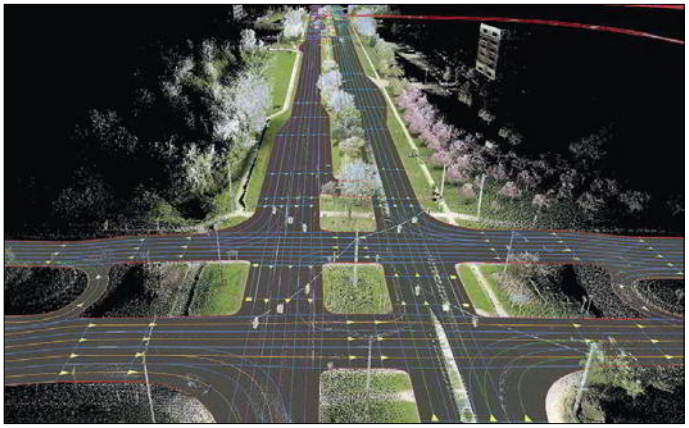


Figure 6. Vue partielle de la carte HD d'*Apollo*. Les nuées de points typiques du lidar en particulier peuvent être vues ici en blanc, alors qu'aucun objet classé n'est montré ici. (source : CB insights).

une infrastructure idéale, la carte devrait être constamment mise à jour à partir du réseau dans la mémoire interne dans le rayon spécifié, ce qui est un processus fort chronophage. Et, pour que le système fonctionne comme prévu, la carte doit être le plus à jour possible. Les véhicules qui passent dans la même zone sont censés mettre à jour pour les autres la carte résidant dans le nuage (c'est là un aspect de l'apprentissage continu). Il serait bien sûr avantageux, à l'avenir, de se passer complètement de carte HD interne, du moins dans sa forme actuelle. Pour l'instant, rien n'est certain.

Si la position et les environs sont connus, la trajectoire, généralement quelques dizaines de mètres, est **planifiée**. La voie la plus favorable est choisie parmi une série de voies possibles, une fois toutes les autres exclues par optimisation de certains facteurs et en tenant compte des contraintes physiques, normatives et autres. Pour que cela soit efficace, les options d'itinéraire peuvent être divisées en segments, généralement des sections de voie. Bien sûr, à la base, la destination et le trajet intégral doivent être connus (navigation totale).

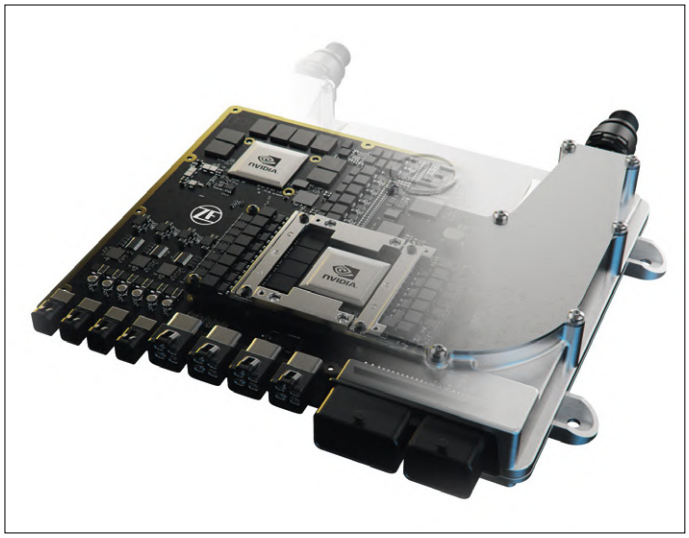


Figure 7. ProAI RoboThink de ZF basé sur NVIDIA DRIVE Xavier (ou autres puces si nécessaire). Souvent la dissipation de chaleur est aussi un défi lors de la conception de ce type de système - ici le refroidissement à eau est indiqué (source : ZF).

Figure 8. Les systèmes de simulation basés sur des moteurs 3D sont courants sur VA - ici un exemple d'AAI avec quelques composants de base tels que des panneaux de signalisation routière ou des bâtiments à assembler sur le côté gauche (image : AAI).

La dernière étape avant les actionneurs est la **commande,** c'est-à-dire la commande qui exécute dans le monde réel le mouvement de la trajectoire précédemment planifiée. Pour ce faire, elle doit être en mesure de répondre en temps réel aux perturbations et toujours prendre en compte les capacités physiques du véhicule (par exemple son inertie). De nombreuses techniques sont utilisées, depuis les régulateurs simples et de nombreux régulateurs proportionnels intégrés dérivés (PID) bien connus, jusqu'aux processus fortement modélisés. Les principaux actionneurs sont l'accélération, le freinage et l'essieu directeur, les technologies mécatroniques nécessaires à cet effet pouvant être utilisées, dont les systèmes d'entraînement par câble (*Drive-by-Wire* DbW) courants aujourd'hui.
Selon le constructeur, les systèmes de ces véhicules répartissent différemment leurs composants matériels et logiciels. Il existe des concepts mixtes avec des composants fortement séparés au niveau du matériel ou avec des éléments centraux de grande taille et fortement redondants. Ceci s'applique également à l'interaction des composants du système délibératif et réactif. En particulier, il faut tenir compte de la capacité et de l'efficacité en temps réel tributaires des limites de la capacité de calcul et de stockage.

Il existe néanmoins de nombreuses similitudes fondamentales. Le prétraitement des données des capteurs pendant la perception, par exemple, est souvent laissé aux FPGA ou (en production en série) aux ASIC en raison de la forte parallélisation. Les unités centrales de calcul, comme le montre la **fig. 7,** avec de grands GPU et beaucoup de puissance de calcul parallèle, sont également utilisées. Le modèle présenté ici, dans lequel jusqu'à quatre unités sont interconnectées, est l'un des plus puissants du marché. Une puissance de calcul combinée jusqu'à 600 Téra-OPS (soit 600 billions de pas de calcul par seconde) peut être atteinte !
Pour la mise au point et l'homologation des modèles de VA, on estime que plusieurs milliards de kilomètres seront nécessaires au lieu des dizaines de millions de kilomètres pour les essais habituels. En effet, sur un VA le conducteur n'est plus un élément compensateur d'erreur. C'est donc au système lui-même d'assurer seul le niveau de sécurité requis. De plus, on attend des nouveaux systèmes un niveau de sécurité supérieur de beaucoup à celui de l'équipage véhicule + chauffeur actuel. Comme il est exclu de parcourir sur route un nombre aussi élevé de kilomètres, une grande partie de la mise au point des VA, de leur apprentissage, de la simulation et du test échoit au logiciel (*Software-in-Loop*, SiL) et au banc de tests (*Vehicle-in-Loop*, ViL). Pour le SiL, les environnements virtuels tridimensionnels à haute résolution bénéficient des acquis du monde des jeux et du graphisme (**fig. 8**). Pour ne pas se perdre dans l'infini des situations de conduite possibles, on fait appel à des méthodes qui ne retiennent que les situations les plus critiques et les plus fréquentes en matière de sécurité. Les exigences de sécurité les plus strictes s'appliquent également aux systèmes eux-mêmes, comme c'est le cas pour la classe ASIL-D, avec une probabilité de défaillance inférieure à 1/108 h. De nombreuses nouvelles normes de sécurité sont en préparation.
Il faut encore souligner qu'on escompte encore de nombreuses améliorations tant en termes de performances que de prix, en particulier avec les algorithmes, les capteurs et les semi-conducteurs puissants.

Défis inédits

Les réticences sociales, ou sociétales si l'on préfère, sont l'un des principaux obstacles que cette technologie aura encore à franchir. Chez la plupart des gens, la crainte d'une erreur informatique semble encore plus grande que celle d'une attaque de pirate informatique.
Le point le plus sensible est probablement celui de l'éthique, qui tôt ou tard devra prendre une forme juridique. Si dans de nombreux accidents le conducteur humain n'a presque aucune latitude pour réagir moralement, la machine, elle, doit en être capable ! En situation de dilemme (*choisir la trajectoire d'évitement par la droite qui épargnera la petite fille sur son vélo ou celle de gauche qui épargnera le piéton vieillard*), un réseau complexe d'interrogations d'ordre éthique peut émerger dans la machine, et les réponses qu'elle donnera dépendront des normes fondamentales de la société (à l'échelle globale !) qui conçoit, produit et utilise ces VA.
La commission d'éthique mise en place pour les VA en Allemagne a interdit les critères comme l'âge ou le sexe (âge, sexe,...), mais admet la réduction des risques de blessure des personnes (Règle 9) **[4]**. Le problème peut être abordé en profondeur et plus techniquement : quels capteurs doivent être pris en compte dans de telles décisions ? Faut-il aller jusqu'à l'état des

pneus, l'état de la route et d'autres paramètres (déjà relevés aujourd'hui par des capteurs) ? Il y a matière à discussion. Si le véhicule ne peut plus freiner et que la collision est inévitable, mais qu'il faut décider si ce sera avec le motocycliste casqué ou celui qui ne porte pas de casque, comment le véhicule doit-il agir ? Les chances de survie du porteur du casque sont plus grandes, mais pourquoi dans cette situation cela devrait-il se traduire pour lui par un *risque d'accident* plus élevé ? En outre, il y a des discussions sur le rôle passif du véhicule, une variable aléatoire, sur la définition des «*conditions de sécurité*«, sur le catalogue de scénarios à valider et d'innombrables autres sujets. Dans ces prises de décision doivent toujours être pris en compte la redondance/sécurité et le temps de calcul.

La question éthique pourrait aussi être abordée d'une manière abstraite et plus générale : est-il admissible qu'à partir d'un certain degré de garantie en matière de sécurité, le législateur puisse forcer les citoyens à ne plus utiliser que des VA ? Il faut bien considérer que si un trafic mixte peut, selon l'interaction des véhicules ordinaires avec les VA, peut perturber considérablement le trafic régulé automatiquement, mais une adaptation technique appropriée devrait rétablir l'harmonie. Que reste-t-il dès lors de la liberté et du plaisir de conduire ? En Allemagne, le Comité d'éthique a clairement rejeté cette contrainte… j'entends vos soupirs de soulagement !
Sur le plan juridique, la question de la responsabilité est un autre sujet passionnant. Même si pour l'heure, en cas d'erreurs, la responsabilité du fabricant continue de s'appliquer comme auparavant, et même s'il appartient au conducteur – en vertu de la première législation mondiale en date sur les VA promulguée en Allemagne dès 2017 – de décider s'il peut ou pas laisser le pilote autonome en service dans la situation actuelle du trafic, de nouvelles situations imprévisibles ne cessent de surgir. Exemple : l'apprentissage des machines fonctionne, entre autres, en recourant à des probabilités universalisées, qui doivent, dans des situations inconnues, permettre à la machine de réagir de façon appropriée. Que se passe-t-il si la «boîte noire» se trompe dans l'évaluation de la situation et commet une erreur ?
Les experts pensent que du fait de sa portée sociale, la problématique des VA ne peut être traitée que dans un cadre global. Ceci explique l'existence de plates-formes telles qu'*Apollo* ou des célèbres coopérations (internes) entre p. ex. *Daimler* et *BMW*. L'établissement de règles et de réglementations communes (et explicitement politiques) est inévitable et contribuera significativement au succès technologique. Les environnements logiciels inter-fournisseurs, tel le projet jeune et ouvert *OpenADx* de la *Fondation Eclipse* en coopération avec *Bosch* et de nombreux autres participants, sont un bon début **[5]**.
Les conditions pour un développement rapide de cette technologie ne sont pas les mêmes dans tous les pays. Aux États-Unis règne une certaine liberté pour tester les véhicules sans conducteur, et en Chine, les données de formation, de test et de simulation nécessaires sont beaucoup plus faciles d'accès – toutes les autoroutes sont même cartographiées en HD pour les VA.
Tout le monde pressent qu'avec les VA le concept même de trafic routier doit être reconsidéré de fond en comble. La planification des transports dans les zones aussi bien urbaines que rurales se trouve ainsi confrontée à des défis inédits.
Les difficultés techniques et structurelles sont ardues en effet, mais cette technologie est propulsée vigoureusement dans le monde entier par les investissements, les subventions et les nouvelles réglementations. La réflexion englobe aussi le cadre plus large et les répercussions indirectes sur d'autres secteurs. Il en sortira forcément quelque chose.

191147-02 VF

L'auteur

Développeur et journaliste indépendant dans le domaine de l'électronique, Viacheslav Gromov écrit des articles et des livres pour divers éditeurs. Il a entamé ses études supérieures bien avant d'entrer à l'université grâce à un programme pour enfants surdoués. Ses domaines d'expertise sont l'intelligence artificielle (Edge AI), les µC (ARM/Wireless) et les FPGA, sur lesquels il a non seulement écrit des manuels pour des universités ou des fabricants de semi-conducteurs, mais il a également participé à des programmes internationaux, en Afrique du Sud et dans la Silicon Valley. Il a fondé une société pour développer des solutions locales d'intelligence artificielle pour des installations industrielles et des systèmes à fusion de données normatifs (brevet en instance) pour la conduite autonome (readers@gromov.de).

Liens

[1] „Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte", M. Maurer et al., Springer Open, 2015: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-45854-9

[2] „Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations", D. J. Fagnant et al., 2015, Elsevier: https://www.aamva.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=6738

[3] Projet Apollo: http://apollo.auto/

[4] Rapport du Comité d'éthique allemand sur la conduite automatique et en réseau, BMVI, juin 2017: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf

[5] OpenADx: https://openadx.eclipse.org/

Innovation 4.0 : dialogue d'innovateurs et d'entrepreneurs

Rachit Syag et **Udo Bormann**

Elektor a récemment parrainé la rencontre «T*he Top 50 Who's Who*», pour le réseautage et le partage d'idées à Munich. Des créateurs d'entreprises, des ingénieurs et des innovateurs ont profité de cette occasion pour échanger leurs cartes de visite, prendre un verre et discuter de l'avenir de la technologie et de l'entrepreneuriat.

Des innovateurs de premier plan sont venus de toute l'Europe au *Top 50 Who's Who : Innovation 4.0* à Munich pour discuter des moyens de combler le fossé entre matériel, IA, IoT et logiciels. Dans le cadre de la *Bits & Pretzels Start-Up Night*, l'événement parrainé par *Sourceability*, TechFounders, *Brinc*, *Invest in Bavaria* et Elektor – a permis aux créateurs d'entreprises, ingénieurs et innovateurs d'échanger leurs cartes de visite et de discuter de l'avenir de la technologie et de l'entrepreneuriat tout en prenant un verre ensemble. Rien de tel que ce genre d'événements pour stimuler partage et coopération, et dynamiser notre vision de l'avenir de la technologie et de l'esprit d'entreprise !
Dans ce premier épisode de *Aire de décollage*, nous revenons sur des faits saillants de la soirée et quelques-unes des présentations.

Potentiel de démarrage en Europe et au-delà

Les sujets brûlants n'effraient pas Jens Gamperl, président de *Sourceability* : intelligence artificielle, apprentissage machine, blockchain, conduite autonome et villes intelligentes. Si pour lui les États-Unis semblent offrir plus d'options de financement, de solutions innovantes et de potentiel de croissance rapide, il estime que la capacité de l'Europe à prévoir le long terme est un atout unique. « Le vivier de talents hautement qualifiés en Europe lui permet d'être compétitive à l'échelle mondiale et alimente sa capacité à construire des modèles d'entreprise durables », déclare Jens Gamperl.
Comme lui, la directrice pour l'innovation et les partenariats stratégiques de *Surcle.io*, Jewell Sparks pense que l'Europe et les États-Unis sont favorables aux créateurs d'entreprise. Selon elle, les entreprises s'engagent fortement en Europe auprès des jeunes entreprises dans les domaines de l'intelligence artificielle, de l'apprentissage machine et de l'analyse augmentée. Elle voit la diversité et l'inclusion comme cruciales pour l'innovation aux États-Unis. Jewell souligne que les sociétés de capital-risque, les programmes d'accélérateurs et d'autres organisations y tiennent leurs équipes de direction non seulement pour responsables de la diversité des technologies innovantes, mais elles doivent aussi en assurer l'intégration et l'évolutivité.
Heiko Huber, directeur de *TechFounders UnternehmerTUM Projekt GmbH*, aide les start-ups dans leurs activités de réseautage. Il insiste sur le principal avantage pour les participants à de tels événements : rencontrer de nouvelles personnes susceptibles de soutenir les projets et le développement des affaires. « Cela peut se faire par l'échange d'expériences, par l'examen de ses propres idées sous un angle différent (p. ex. des conseils sur l'application inédite d'une idée de start-up) ou en suscitant une coopération ou un investissement » précise-t-il.
Bernd Wunderlich (chef de projet numérique chez *Gartner*) s'intéresse à la sécurisation de nouvelles activités numériques (**fig. 1**), il souligne l'intérêt des statistiques numériques. Les résultats d'une enquête menée par *Gartner* auprès des PDG des pays germanophones montrent que parmi les dix projets les plus importants d'activités commerciales nouvelles, les initiatives numériques se classent au premier rang. Il est intéressant de noter que la numérisation est la priorité des décideurs et que 49% d'entre eux ont déjà changé leur modèle d'affaires. Sur les 49%, 28% utilisent cette numérisation pour faire évoluer l'entreprise, mais 51% n'ont pas encore entamé le processus de numérisation.

Les innovateurs présentent

Six entreprises ont présenté leurs produits et solutions lors de l'événement *Top 50 Who's Who*. Les technologies allaient de l'informatique vestimentaire portable à l'IA (cf les liens vers les sites des entreprises ci-dessous).

Teiimo
Markus Strecker, fondateur et directeur :
Teiimo est spécialiste de l'électronique «conformable» dans le textile. Markus Strecker a présenté leur T-shirt médical qui surveille les données cardiaques du patient en temps réel. Note : Teiimo avait remporté le premier prix du concours *electronica Fast Forward* 2018.)

Franck.AI
Isabell Franck, fondatrice et directrice :
A l'ère de l'Industrie 4.0 et de l'IA, *Franck.AI* fournit des solutions logicielles innovantes en se concentrant sur la combinaison de l'apprentissage machine et des connaissances spécialisées spécifiques au client. Le but est d'optimiser les activités de production et de développement.

Figure 1. Bernd Wunderlich parle de la sécurisation des nouvelles activités numériques.

Smartfurniture
Joerg Sahlmann, co-fondateur :
Smartfurniture (= mobilier intelligent) combine meubles, électronique et logiciels pour créer du mobilier de travail et de loisirs intelligent. Pour cela, l'entreprise se concentre sur quatre éléments clés : conception, fonction, qualité et prix.

Swap Language
Nicholas Møller Walsted, directeur :
Swap Language offre la possibilité simple, mais efficace d'apprendre une langue avec un interlocuteur dont c'est la langue maternelle. L'offre consiste à mettre en rapport dans leur ville des personnes qui souhaitent apprendre une nouvelle langue et d'enseigner leur propre langue maternelle en échange.

Valuer.ai
Signe Andersen, directeur pour l'Allemagne :
Le financement participatif et l'IA sont mis à contribution par *Valuer.ai* pour aider les accélérateurs et les entreprises à trouver des jeunes pousses à fort potentiel qui correspondent à leurs besoins d'innovation stratégique.

Rydies
Andreas Nelskamp, directeur :
Les solutions de micro-mobilité de *Rydies* sont des vélos, des vélos électriques et d'autres véhicules roulants pour passer moins de temps sur la route ou à chercher des places de stationnement. Le but recherché est la réduction du stress sur les petits déplacements tout en luttant contre la pollution.

L'électronique de demain

L'événement *Top 50 Who's Who* a été une nouvelle occasion pour souligner l'importance de l'innovation technologique. Elektor est déjà une ressource utile et fiable pour une communauté d'électroniciens dans plus de 80 pays, mais en plus Elektor croit fermement à la promotion de l'innovation et de l'entrepreneuriat. Grâce à sa plate-forme Elektor Labs et grâce à des concours internationaux, Elektor stimule activement l'innovation des jeunes pousses. ◀

191151-03

Liens

[1] Teiimo: https://teiimo.com/
[2] Franck.AI: https://franck.ai/
[3] Smartfurniture: https://smartfurniture.de/
[4] Swaplanguage: www.swaplanguage.com
[5] Valuer.ai: https://valuer.ai/
[6] Rydies: www.rydies.com

Participants

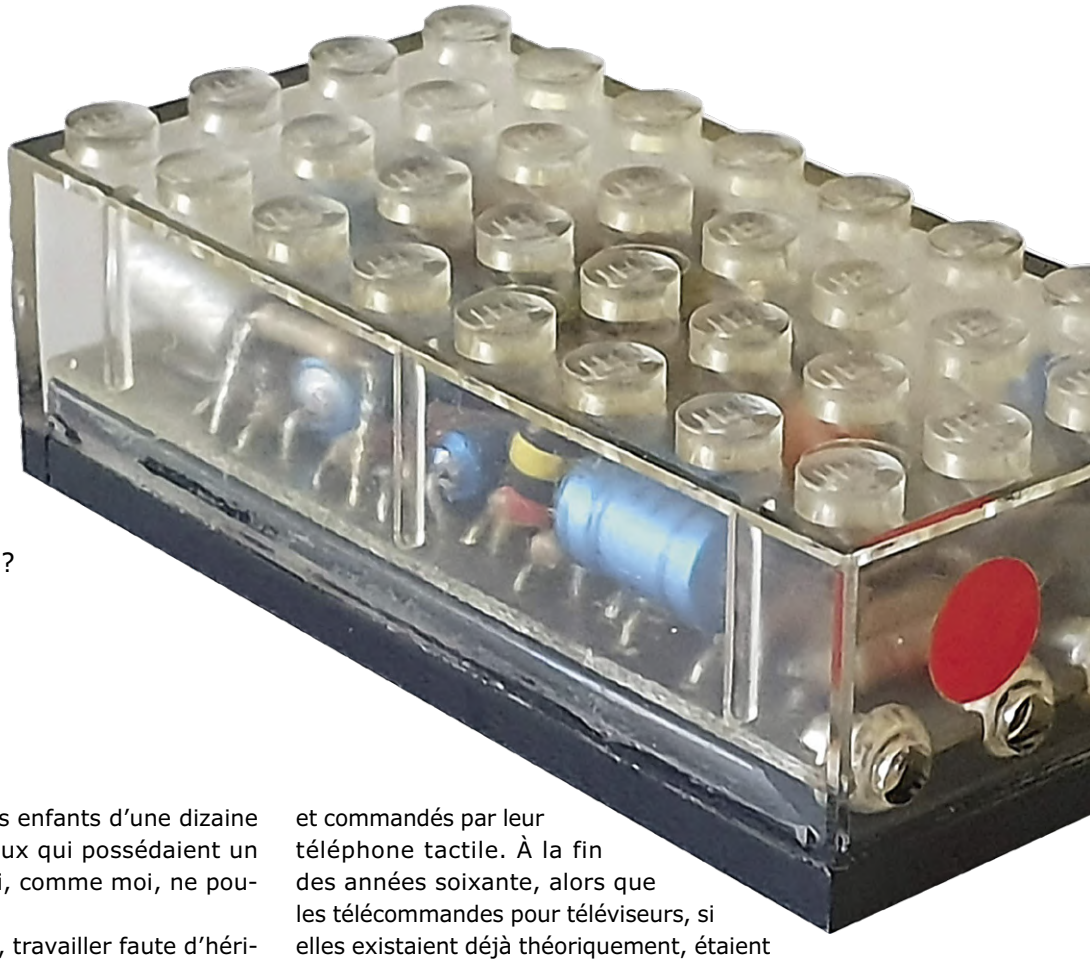
- Brinc - Vanessa Narvios. **www.brinc.io**
- Invest in Bavaria - Andreas Fischer. **www.invest-in-bavaria.com**
- Sourceability / Surcle.io - Jens Gamperl. **https://sourceability.com**; **www.surcle.io**
- Elektor - Udo Bormann & Rachit Syag. **www.elektormagazine.com**

Coffret Lego électronique millésime 1968

50 ans après, les jouets électroniques fascinent encore !

Martin Kompis (Allemagne)

Beaucoup en rêvaient à la fin des années 60, plus rares sont ceux qui ont pu mettre la main sur ce coffret électronique Lego. Un coup de sifflet faisait démarrer la locomotive ! Ces petites boîtes fonctionnent-elles encore aujourd'hui ? Qu'est-ce qu'elles ont dans le ventre ? Qui en a eu l'idée ? Pourrait-on encore en construire aujourd'hui ? Et pour quoi faire ?



Vers la fin des années 1960, parmi les enfants d'une dizaine d'années, il y avait quelques chanceux qui possédaient un Lego Electronic et tous les autres qui, comme moi, ne pouvaient que les envier.

À l'âge adulte il faut payer ses impôts, travailler faute d'héritage convenable, sortir les poubelles, ne pas bâiller durant le réveillon du Nouvel An mais rire des bonnes blagues, pour ne citer que quelques contraintes courantes. Un avantage de l'âge adulte est de pouvoir enfin s'offrir tous les jouets dont on a eu tellement envie.

Comme l'objet de mes rêves ne se trouve pas dans les vitrines des magasins de jouets, j'ai acheté mon coffret Lego Electronic sur l'internet. Il porte le numéro 139A et est livré avec microphone, sifflet Lego, le tout dans sa boîte originale (**fig. 1**).

Le fonctionnement du système est assez simple et on ne pourrait probablement pas mieux l'illustrer que ne le fait le couvercle de la boîte (photo 1). Sifflez une fois avec le sifflet Lego, le train se met en marche. Sifflez un deuxième coup, le train s'arrête. Au lieu de siffler, on peut aussi bien frapper dans ses mains.

Rien de particulièrement sensationnel pour des enfants d'aujourd'hui, qui jouent avec des drones équipés d'une caméra et commandés par leur téléphone tactile. À la fin des années soixante, alors que les télécommandes pour téléviseurs, si elles existaient déjà théoriquement, étaient encore rares de ce côté-ci de l'Atlantique, c'était un jouet vraiment tentant et qui promettait des heures de plaisir.

Dans les années 1968 et 1969, deux versions différentes du coffret électronique Lego sont sorties, regroupées en quatre jeux Lego différents avec les numéros 118, 138, 139 et 139A. L'ancienne version de 1968 se trouve dans les ensembles 118 et 139A. Ce dernier est à la figure 1 et contient un bloc électronique, un microphone dans un boîtier en plastique blanc, deux paires de câbles et un sifflet dont allons reparler. Le coffret Lego numéro 118, plus grand, contenait une locomotive complète avec tender (**fig. 2**).

À peine un an plus tard, on trouvait dans les étagères un nouveau bloc électronique, disponible soit individuellement sous le numéro 139, soit avec la locomotive et son tender sous le numéro 138, cette fois avec un nouveau moteur plus petit. Alors que l'ancienne version est faite entièrement de compo-

sants électroniques discrets, celle de 1969 contient un circuit intégré codé *211 OM* [1]. Il permet au train de rouler en marche avant et en marche arrière, télécommandé par le sifflet du chef de gare.
Un coup d'œil rapide à la boîte achetée aux enchères montre qu'il s'agit de l'ancienne version, avec composants discrets. C'est non seulement plus approprié pour la rubrique Rétronique, mais aussi plus facile pour analyser et reconstruire le circuit, alors que le mystérieux circuit intégré est peut-être un composant développé ou programmé spécialement pour cette application, comme une sorte de précurseur des FPGA actuels.

Un peu d'acoustique avant l'électronique

Commençons par le commencement, le bloc électronique n'est que la deuxième partie du système. La première est le générateur de signal acoustique, c'est-à-dire le sifflet Lego (fig. 1 et 2). Celui que j'ai acheté fonctionne impeccablement avec le circuit, mais je le trouve trop sonore. Même en soufflant modérément, on atteint un niveau d'environ 95 dBA à 1 m. C'est fort. À mon oreille, quand je siffle, je mesure même 105 dBA. Le niveau acoustique varie logiquement avec la force du souffle, mais la tonalité change un peu aussi. La fréquence de mon spécimen avoisine 5,7 kHz. Précisément la plage de fréquences dans laquelle l'oreille humaine semble la plus sensible à la pression acoustique [3]. J'ai constaté qu'un niveau sonore plus faible suffisait pour obtenir une une commutation fiable, avec mon exemplaire environ 82 dBA font largement l'affaire.

L'électronique

La partie de loin la plus attractive et la plus précieuse de tout le système est bien sûr le bloc électronique, bourré de composants, forcément antiques et tous à fils traversants, puisque la technologie CMS n'avait pas encore été introduite en 1968 [2]. La partie supérieure est transparente, ce qui faisait déjà partie de son attrait pour les enfants intéressés par la technique. Même dans la locomotive terminée, l'électronique n'est pas dissimulée, mais fièrement exposée (**fig. 2**).
Le raccordement au moteur s'effectue par deux tiges métalliques sur la face inférieure du bloc électronique, le raccordement au microphone et au boîtier de la batterie par deux paires de douilles de 2,5 mm sur sa face avant. Elles sont marquées d'un point bleu pour le microphone et d'un point rouge pour l'alimentation (fig. 1).

Cela soulève d'emblée des questions sur le circuit. La polarité de la tension d'alimentation n'est indiquée nulle part. Cela ne servirait d'ailleurs à rien, puisque la polarité de la tension de service peut être modifiée par une courte pression sur le levier situé sur le compartiment des piles. Mécaniquement, toutes les prises sont identiques, vous pourriez donc connecter le microphone sur les connexions du moteur, la batterie à celles du microphone et ainsi de suite. Comme l'ensemble est destiné aux enfants qui aiment faire des expériences, il est protégé contre les fausses manœuvres. Un court test montre que le circuit ne fonctionne comme prévu qu'avec la bonne polarité de la tension d'alimentation. En cas d'inversion de polarité, il n'y a pas de risque : le train fait simplement marche arrière, mais à une vitesse beaucoup plus lente.

Figure 1.L'ensemble électronique Lego des années 60, vendu aux enchères : à gauche le bloc électronique proprement dit, à l'avant le microphone et à sa droite, le sifflet tout puissant du chef de gare.

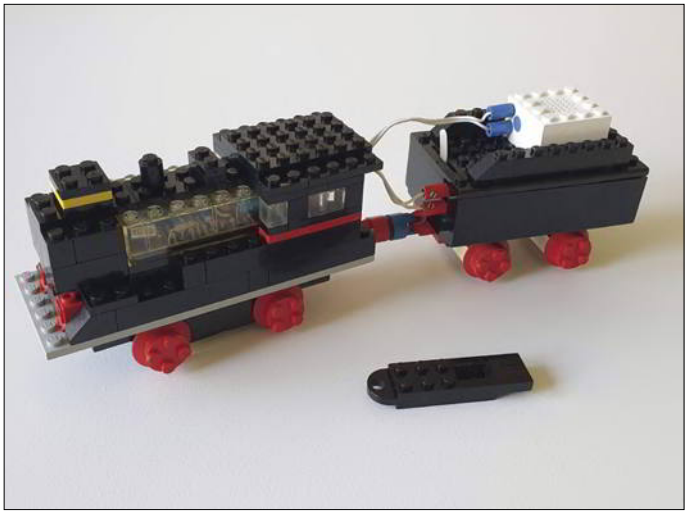


Figure 2. Réplique (malheureusement pas l'original) de la locomotive n° 118, le module électronique y est mis en évidence.

En cas de surcharge du moteur, l'intensité du courant augmente rapidement jusqu'à 80 mA environ. Pourtant, à l'intérieur du bloc électronique, à travers le couvercle transparent, on n'aperçoit ni transistor de puissance ni diodes de protection contre l'inversion de polarité. Comment ont-ils fait ça en 1968 ? Pour répondre à cette question et à bien d'autres, il faudrait le schéma du circuit. En première instance, je ne trouve rien sur l'internet, il me faut donc ouvrir le bel appareil. Je me suis rendu compte plus tard que je n'avais tout simplement pas assez bien cherché : on trouve le schéma sur l'internet [1] et même en deux variantes. Cependant, les deux ne reflètent pas correctement la polarité des transistors, ce qui laisse planer une incertitude sur le fonctionnement du circuit.
La partie supérieure du boîtier est collée sur la plaque de base et je dois l'entailler avec un couteau suisse. Pour un tel outrage au composant historique Lego, je risque d'aller en enfer Lego (ou est-ce l'enfer du jeu ?). Quoi qu'il en soit, il est possible

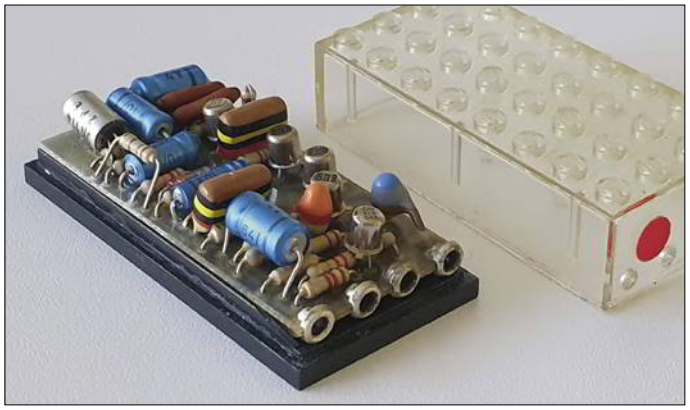


Figure 3. Le Lego électronique, boîtier ouvert. À l'arrière, tout à gauche, le transistor au germanium.

d'enlever la partie supérieure sans endommager aucune des pièces en plastique. L'ensemble de l'électronique est maintenant devant moi dans toute sa splendeur (**fig. 3**). En soulevant un peu petit carton coincé de côté, je trouve une note jaunie où je lis la date « SEP. 1968 ». C'est charmant.
Avec du papier calque, un appareil de mesure et un œil exercé, le circuit est maintenant tout tracé. Les composants sont tellement serrés les uns contre les autres que l'identification ressemble assez à un autre défi. Par souci de compacité, ils sont partiellement superposés, de sorte qu'on ne peut apercevoir certaines résistances et une diode qu'en pliant les fils des composants du dessus.

La **figure 4** montre le schéma de circuit qui en résulte. Sur le petit circuit imprimé, il y a en tout six transistors en boîtier métallique. Cinq d'entre eux sont étiquetés *ON 113* dans les petits boîtiers TO-18, le dernier, sous un grand format TO-1, porte la mention ON 114.
À ma connaissance, ces désignations ne sont répertoriées nulle part et j'ai cherché en vain sur l'internet une correspondance quelconque dans un système connu. Selon les mesures effectuées, le ON 114 doit être un transistor au germanium PNP, tandis que les cinq autres transistors sont de type NPN et, à ma grande surprise, il s'agit de transistors au silicium.
Fondamentalement, le fonctionnement du circuit est facile à comprendre. Les transistors T1 et T2 forment un amplificateur pour le signal du microphone. On n'exige pas ici de haute fidélité, ce qu'il nous faut est une amplification plus forte. Du coup, le signal au collecteur de T2 semble déformé. En fait, seules certaines parties des demi-ondes négatives sont amplifiées, et même pas de manière particulièrement propre. Cela dit, le signal atteint quand même facilement une amplitude crête à crête d'environ 2,5 V.
Avec le condensateur C4 et la résistance R9, le transistor T3 forme un interrupteur qui commande le multivibrateur bistable composé de T4 et T5. Le condensateur C4 est presque chargé à la tension de service au repos via R9 (et donc aussi via R10, bien sûr). Si un coup de sifflet retentit, T3 devient brièvement conducteur à chaque demi-onde et décharge ainsi rapidement C5. La recharge de C5 se fait alors beaucoup plus lentement, avec une constante de temps de près de 50 ms déterminée par C5 et R9, après que le signal sonore se soit arrêté. Le multivibrateur bistable est commandé par C7 et C8. Si T4 est conducteur, le moteur s'arrête. En revanche, si T5 conduit, la jonction CE du transistor de l'étage de sortie T6 devient conductrice et le train roule.

Cinq des six transistors du circuit sont au silicium, mais les concepteurs ont choisi un transistor au germanium pour commander le moteur. Cela s'explique par le fait que, quand il conduit, la chute de tension est nettement plus faible sur les jonctions d'un transistor au germanium que sur un homologue au silicium. Dans le circuit que j'ai devant moi, la tension de déchet est de l'ordre de 0,03 V, une valeur étonnamment faible. En conséquence, la dissipation de puissance sur T6 est très faible.

La question de la polarité

Jusqu'à présent, tout est simple, mais certains détails restent flous. Que se passe-t-il si la polarité de la tension de service est mauvaise ? Pourquoi le train circule-t-il et pourquoi plus lentement qu'en marche avant ? Qu'arrive-t-il aux différents composants du circuit si la polarité est inversée ? La pre-

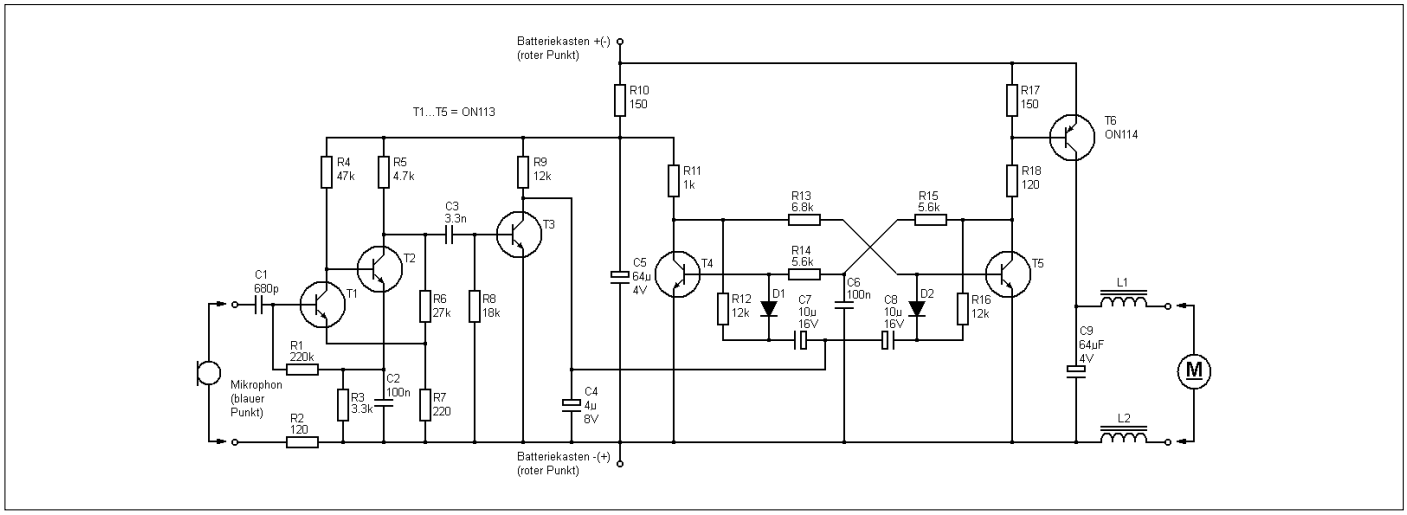


Figure 4. Le schéma du circuit. Les transistors T1 à T5 sont au silicium, T6 est au germanium.

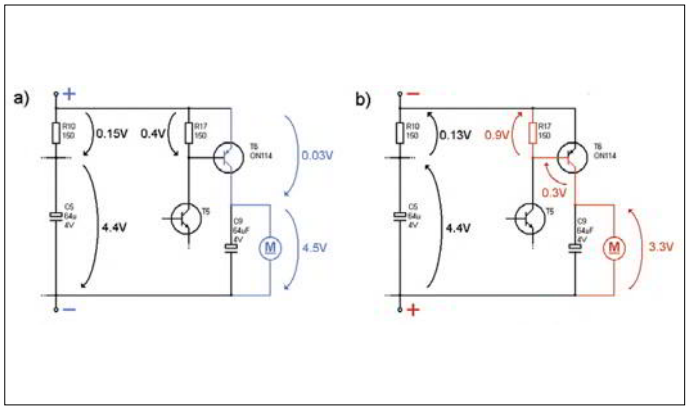


Figure 5. Certaines tensions (a) pendant la marche avant et (b) pendant l'inversion de polarité de la tension d'alimentation avec laquelle le train ralentit et se déplace dans la direction opposée.

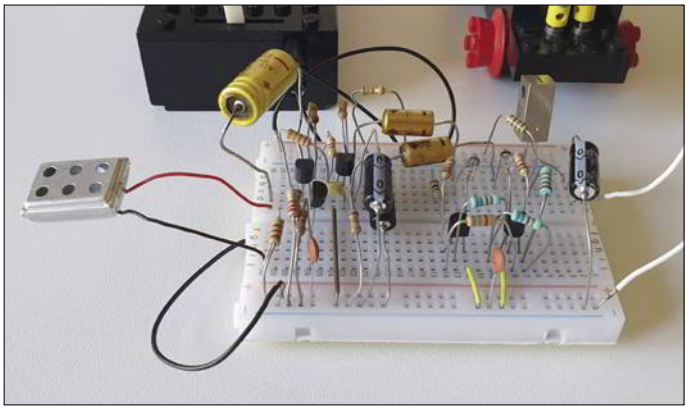


Figure 6. La réplique de l'électronique Lego. À l'arrière, à droite, le transistor au germanium AC153K en boîtier TO-1 avec son radiateur, superflu pour cette application.

mière partie du circuit peut être protégée par R10, mais que deviennent les condensateurs électrolytiques C5 et C9 ? Ne subissent-ils pas une polarisation inverse dans ce cas-là ? La **figure 5** montre les deux états et quelques tensions relevées pendant le fonctionnement.
Si la polarité est correcte (**fig. 5a**), tout fonctionne exactement comme décrit. En marche arrière (**fig. 5b**), en revanche, la jonction BC de T6 agit comme une diode avec une chute de tension prévue d'environ 0,3 V. Le courant circulant dans le moteur doit alors circuler aussi à travers la résistance R17 de 150 Ω, où une autre chute de 0,9 V se produit. En conséquence, le moteur tourne beaucoup plus lentement, mais il tourne !
Et les deux condensateurs électrolytiques ? Il n'y a pas de miracle. Si la locomotive roule lentement vers l'arrière, les deux condensateurs électrolytiques C5 et C9 sont en fait mal polarisés et les tensions inverses qu'ils subissent ne sont pas négligeables. Les concepteurs le savaient et cela semble fonctionner, même après plus de 50 ans.
Les mesures sur le circuit imprimé étroit ne sont pas très faciles. De plus, il est tentant de reconstruire le circuit pour s'assurer que le schéma est correct.

La prochaine question pertinente est donc la suivante : faut-il vraiment le reconstruire ? Comme pour toutes les interrogations cruciales dans ma vie, je consulte d'abord ma famille. Cette fois-ci, les réponses varient entre « ferme la porte » (les adolescents) et « à quoi ça servira ? » (mon épouse aimante, qui a ses propres tourments existentiels). Quand j'interroge mon chat (âge et pedigree incertains, mais pas de la dernière portée non plus) il ferme ostensiblement les deux yeux et ronronne. Le connaissant, j'en déduis c'est une réaction d'approbation enthousiaste à mes interrogations et je me mets aussitôt au travail.

La réplique

La **figure 6** montre la copie du circuit sur une petite plaque d'expérimentation. Au lieu des cinq transistors au silicium ON 113 NPN pour T1 à T5, j'ai utilisé les types BC548C et en lieu et place du transistor au germanium ON 114, j'ai pris un exemplaire de l'AC153K, qui venait de passer les dernières décennies enfoui dans les profondeurs du boîtier de l'appareil. Le montage fonctionne immédiatement, tout comme l'original vieux de plus de 50 ans. Un coup de sifflet et le moteur démarre, un deuxième coup et il s'arrête. Si vous appuyez sur l'interrupteur de batterie, le moteur tourne dans l'autre sens, et beaucoup plus lentement. Ça maaaaarche ! Comme microphone, j'ai pris un vieux modèle à cristal. J'espère que mon circuit reconstitué pourra être utile à quelqu'un qui possède comme moi un vénérable coffret Lego électronique aujourd'hui défectueux. Je suis content comme un gamin, le circuit n'a semble-t-il rien perdu du potentiel ludique de l'original. Il n'y a pas de mal à se faire du bien, je vous recommande d'en faire autant ! ⏮

(190382-02 VF Robert Grignard)

ESTD 2004
www.elektor.tv
Rétronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans Elektor. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

Liens

[1] Circuit 211 OM: www.eurobricks.com/forum/index.php?/forums/topic/10989-electronic-train-118138-and-139-anyone-have-one-or-have-seen-one/&page=2

[2] Petite histoire des CMS (en allemand) : www.all-electronics.de/eine-kleine-geschichte-der-smt/

un pont pour jauger la ville

Tessel Renzenbrink
Tessel écrit pour Elektor sur des sujets relatifs à l'éthique de l'électronique

La collecte massive de données n'est pas incompatible avec la protection de la vie privée, même dans le quartier rouge d'Amsterdam. Elle pourrait même la renforcer... C'est ce que veut croire Alec Shuldiner, sur le premier pont métallique imprimé en 3D, le MX3D est une réalisation d'ingénierie unique en son genre.
Un tour de force composé de millions de soudures en acier inoxydable effectuées par des robots industriels en six mois. Il est truffé de capteurs... et de caméras « pour apprendre ».

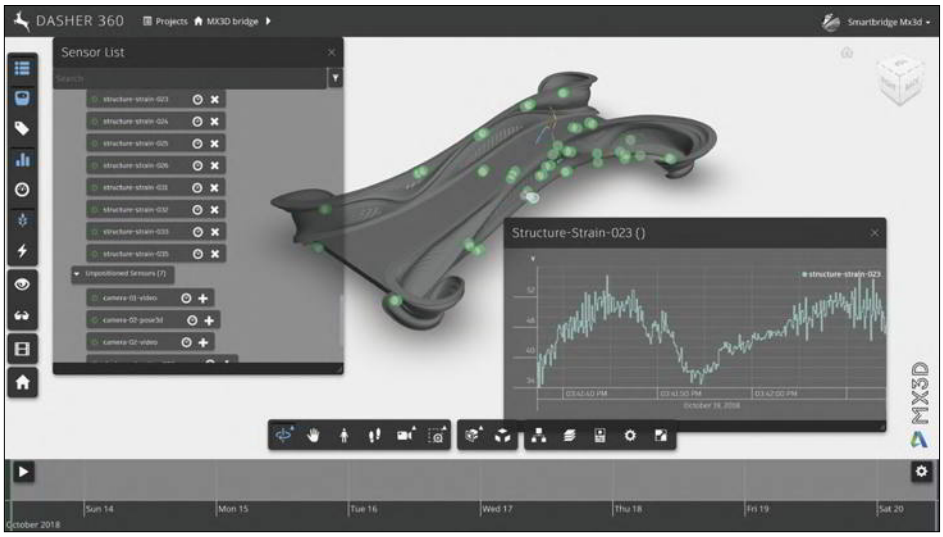


Figure 1. Tableau de bord avec la sortie des capteurs du pont MX3D. (Image : Alec Shuldiner)

Premier pont métallique imprimé en 3D, le MX3D est une réalisation d'ingénierie unique en son genre. Un tour de force composé de millions de soudures en inox effectuées par des robots industriels en six mois. Pour tester et surveiller cette construction, elle est équipée d'une batterie de capteurs permanents. Pour Alec Shuldiner, chef de produit chez *Autodesk*, éditeur de logiciels, les données fournies par ces capteurs ouvrent un monde de possibilités nouvelles. Il explique comment elles changent non seulement notre vision du rôle d'un pont, mais aussi de son environnement. Elles peuvent contribuer à l'amélioration de la gestion des espaces publics. La fréquentation d'une passerelle nous renseigne sur la promiscuité dans les environs et nous guide dans la gestion des flux de circulation.
« Beaucoup de gens ne réalisent pas que la collecte de données peut aussi freiner l'érosion de la qualité de la vie privée dans l'espace public » dit Shuldiner. « Pour y parvenir, il nous faut repenser notre conception de l'Internet des Objets. »
Le projet MX3D s'appuie sur des expertises variées. D'abord au sein de la société du même nom, sise à Amsterdam, qui a mis au point la technique d'impression 3D en l'air, en s'affranchissant des limites imposées par un boîtier d'imprimante ou d'autres supports. Le réseau de capteurs de la passerelle pour piétons est le fruit des efforts conjoints de l'*Imperial College* de Londres, de l'Université de Twente aux Pays-Bas et d'*Autodesk*, célèbre pour son application AutoCAD. *Autodesk* fournit également le logiciel de conception et, en collaboration avec le *British Alan Turing Institute*, travaille sur des algorithmes d'apprentissage par les machines pour traiter les données. Un autre partenaire est la ville d'Amsterdam, cliente de MX3D, qui projette une passerelle similaire sur l'un des canaux du plus ancien quartier de la ville.

L'IdO : une fenêtre sur le monde

« L'argument principal en faveur de l'installation de capteurs, dit Shuldiner, est que la méthode de fabrication du pont est à ce point avant-gardiste et unique qu'il faut recueillir des données pour bien comprendre la technique. Ce sont les données des capteurs qui nous disent comment le pont fonctionne réellement. L'objectif est de constituer un corpus de connaissances techniques pour garantir la sécurité du pont et de recueillir des données pour la conception future d'autres objets similaires. Cela reste l'intérêt premier du projet dans son ensemble. Mon intérêt personnel porte sur l'Internet des objets (IoT) : prendre les données fournies par des capteurs pour déchiffrer ce qui se passe sur et autour du pont.
« Je m'intéresse à la perception du milieu urbain que nous devons mieux comprendre pour mieux le gérer. Le surpeuplement des villes s'intensifie et avec lui les problèmes de circulation. Le quartier *De Wallen* qui abrite le fameux quartier rouge

Figure 2. Capteurs sur le pont MX3D. (Photo : Alec Shuldiner).

Figure 3. Alec Shuldiner devant le pont MX3D. (Photo: Courtesy Alec Shuldiner)

d'Amsterdam est l'épicentre de ce problème. Nous parlons de l'un des endroits les plus bondés de la planète. Une saturation certes désagréable, mais aussi potentiellement dangereuse. La ville cherche donc à mesurer les foules pour mieux les gérer. Ce que nous escomptons avec le projet MX3D, c'est un suivi en temps réel du nombre de personnes présentes sur le pont. »

Des caméras pour apprendre

« Le système de capteurs nous informe sur le nombre de personnes qui s'y trouvent à un moment donné, poursuit Shuldiner. Fondamentalement, les capteurs se partagent en deux familles. Ceux qui mesurent l'environnement : changements de température, de niveau sonore, d'intensité lumineuse, etc. Les capteurs les plus importants sont les caméras qui enregistrent l'activité sur et autour du pont. L'autre ensemble de capteurs scrute le pont lui-même : vibrations, fréquences, inclinaisons, déformations et déplacements. L'idée est d'utiliser les caméras pour recueillir des données sur ce qui se passe sur le pont, puis de corréler cette information à l'aide de l'intelligence artificielle aux changements physiques sur le pont : on connaîtra ainsi la réaction du pont à ces événements. La réponse physique enregistrée par le pont nous suffira pour savoir combien de personnes s'y trouvent. Le but est de se débarrasser ensuite des caméras, qui ne sont là maintenant que pour l'apprentissage.

Aujourd'hui, la technologie par défaut pour ce genre de dénombrement est la caméra, à Amsterdam et ailleurs dans le monde. Elle est hélas problématique comme moyen de collecte de données. Tant sur le plan pratique que sur le plan sociétal. En pratique, une caméra n'est pas un capteur précis. Les données récoltées varient avec la lumière ou la météo. C'est aussi une source de données lourde pour l'informatique, le traitement des données vidéo est onéreux. Outre ces problèmes pratiques, les caméras présentent accessoirement l'inconvénient majeur de récolter des données qui permettent d'identifier les personnes avec un haut degré de certitude (alors que ce n'est nullement le but du dispositif).

Dans le quartier chaud d'Amsterdam

Jusqu'ici personne ne s'attendait à être espionné dans l'espace public. Désormais, avec toutes les caméras dans l'espace public, l'intrusion dans la sphère privée est permanente. Même avec des techniques d'occultation pour empêcher l'identification, il reste l'impact psychologique. Ainsi, dans le projet MX3D, les images vidéo sont systématiquement anonymisées : le visage des passants n'est pas visible, les passants sont réduits à des bâtons, mais ça ils ne le savent pas. Au contraire, ils voient une caméra et en déduisent que leur image est enregistrée. Et que leur visage est donc reconnaissable. Ainsi, même une caméra qui ne malmènerait en rien votre vie privée, n'en éroderait pas moins votre sens de la vie privée. C'est presque aussi mauvais, et c'est pour ça qu'on veut retirer les caméras après la phase d'apprentissage du dispositif."

Repenser l'Internet des Voyeurs

Shuldiner : « L'utilisation de caméras relève d'un problème plus vaste dans l'Internet des objets. À quoi bon effectuer une simple tâche de comptage avec un dispositif aussi lourd, affecté par des effets secondaires aussi redoutables que connus d'avance. En fait, nous ne recueillons pas les bonnes données pour les questions que nous nous posons. Nous n'avons pas assez bien réfléchi aux capteurs spécifiques dont nous aurions besoin. Même avec le MX3D, pourtant un projet d'avant-garde, la question des capteurs a été posée a posteriori. Il conviendrait d'inverser le processus de conception des objets IoT : commencer par les questions auxquelles les gens veulent des réponses ; ensuite, déterminer les données nécessaires puis assembler l'ensemble approprié de capteurs pour recueillir cette information. En dernier arrive la conception de l'objet physique qui accueillera ces fonctions de l'IdO. Ce que j'appelle de mes vœux, ce sont des outils de conception qui incitent le concepteur à réfléchir aux questions auxquelles l'objet devrait répondre. De là découlerait automatiquement un ensemble de capteurs à inclure dans le projet, et non l'inverse. » ◀

(191141-02 VF)

bienvenue dans votre e-choppe

la rédaction recommande

Microscope Andonstar AD407 numérique avec afficheur confortable

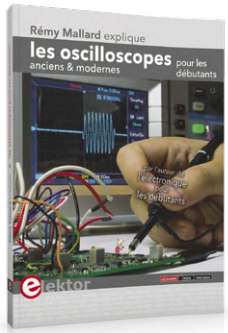
Quand l'Andonstar AD407 arrive sur votre plan de travail, vous sentez aussitôt que quelque chose va changer dans votre vie d'électronicien, pas seulement parce qu'il va remplacer votre loupe pour inspecter et modifier les soudures. Qu'il soit connectable à un PC par l'USB n'est même plus un argument, tant cet appareil frappe justement par son autonomie, le confortable dégagement sous l'objectif et le grand écran (plus besoin de moniteur !). Sa conception et son prix le rapprochent de son prédécesseur, l'ADSM302, mais ses caractéristiques et spécifications montrent que celui-ci ne fait plus le poids.

Luc Lemmens (labo d'Elektor)

www.elektor.fr/19079

Vos favoris :

1. Les oscilloscopes anciens & modernes pour les débutants
   www.elektor.fr/19124



2. Raspberry Pi 4 B
   www.elektor.fr/rpi4
3. Livre *Learning Python with Raspberry Pi*
   www.elektor.fr/19106
4. Microscope Andonstar AD407
   www.elektor.fr/19079
5. Raspberry Pi Zero WH
   www.elektor.fr/18567
6. Moteur Mendocino AR O-8
   www.elektor.fr/19129

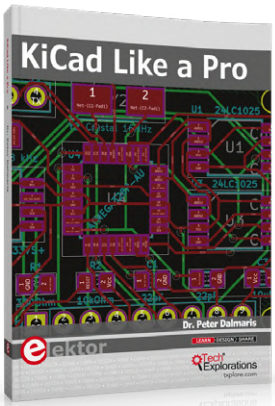
Percer les mystères de l'électronique

Le monde de l'électronique est à la fois vaste et tout petit ! Tout touche à tout, le plus petit détail peut avoir les plus grandes conséquences. L'objectif de l'auteur, Robert Lacoste, n'est pas de vous tenir par la main. Il vous donne des pistes pour comprendre et vous permettre ensuite de progresser seul. Repoussez vos propres limites et apprenez à détecter celles du matériel et du logiciel que vous utilisez.

Prix (membres) : 33,75 €

www.elektor.fr/19080

KiCad Like a Pro (livre en anglais)

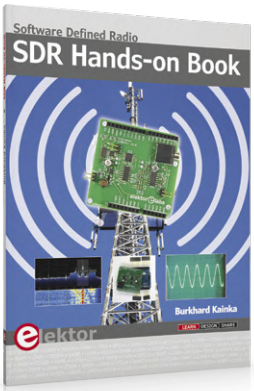


Dès son apparition en 1992, KiCad s'est affirmé avec son code source ouvert, gratuit et sans limitation, et cela reste un de ses atouts essentiels. Depuis des décennies, le logiciel a été associé aux communautés de passionnés d'électroniques. Récemment, après la V5, son potentiel professionnel a été reconnu.

Prix (membres) : 35,96 €

www.elektor.fr/18822

SDR Hands-on Book (livre en anglais)



Un de nos meilleurs auteurs, B. Kainka, radio amateur chevronné, décrit dans son livre (en anglais) la pratique moderne de la radio logicielle avec le shield SDR 2.0 d'Elektor. Grâce à la profusion de logiciel à code source ouvert, les ondes courtes, passe-temps toujours passionnant, redeviennent ultra modernes. Le shield SDR 2.0 est un récepteur d'ondes courtes polyvalent jusqu'à 30 MHz. L'initiation idéale à la radio logicielle !

Prix (membres) : 26,96 €

www.elektor.fr/18914

nouveau

Livre (en anglais)

Learning Python with Raspberry Pi

Avec ce livre, apprenez le langage de programmation Python en utilisant un Raspberry Pi 4. Après une présentation de cet ordinateur, l'auteur aborde Python et les sujets suivants : variables, chaînes de caractères, tableaux, matrices, tuples, listes, listes, dictionnaires, fonctions utilisateur, flux de contrôle, impression, saisie clavier, graphiques, GUI, programmation orientée objet et bien d'autres.

Le livre est destiné aux débutants, aux étudiants, aux ingénieurs en exercice, aux amateurs et à tous ceux qui veulent apprendre à programmer en Python. Il comprend de nombreux exemples de programmes et d'études de cas, tous soigneusement testés par l'auteur et utilisables tels quels.

Prix (membres) : 31,46 €

www.elektor.fr/19106

JOY-iT 3 en 1 : oscilloscope + générateur de fonctions + multimètre

Cet appareil de poing, pratique et polyvalent, combine les fonctions d'un oscilloscope à 2 voies (70 MHz), d'un géné de fonctions (250 Méch/s) et d'un multimètre (4000 p.). La résolution de son afficheur TFT-LCD couleur de 7,1 cm rétroéclairé est de 320×240 pixels. Il tient toute une journée sur ses batteries (li-ion) rechargeables (USB-C).

Prix (membres) : 215,10 €

www.elektor.fr/19157

Coffret d'expérimentation Elektor ESP32 Smart Kit

Apprendre la programmation avec le µC ESP32 et les langages Arduino IDE et microPython pour l'IdO, voici l'objectif du kit Elektor ESP32 Smart Kit associé au livre The Complete ESP32 Projects Guide. Cet ensemble d'expérimentation réunit la populaire carte ESP32 DevKitC, une plaque d'essais, des capteurs, des LED, un afficheur LCD, et bien sûr le livre

Prix (membres) : 62,96 €

www.elektor.fr/19033

The Ultimate Compendium of Sensor Projects *(livre en anglais)*

Pour mieux capter les capteurs, offrez-vous ce nouveau livre d'Elektor (en anglais !) sur des projets autour de modules capteurs avec les systèmes de développement de microcontrôleurs Arduino Uno, Raspberry Pi et ESP32. Plus de 40 types de capteurs différents sont utilisés dans divers projets testés et entièrement fonctionnels.

Prix (membres) : 31,46 €

www.elektor.fr/19103

Hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Votre magazine se termine toujours et encore par une grille de sudoku particulière. Éteignez le fer à souder, oubliez les écrans de PC et d'oscilloscope, rangez les pinces et les fils. Faites travailler votre matière grise d'une autre façon : attrapez un crayon pour remplir la grille d'hexadoku.
N'oubliez pas d'envoyer votre réponse pour tenter de gagner un bon d'achat.

Une grille hexadoku est composée de chiffres du système hexadécimal, de 0 à F. Remplissez le diagramme de 16 x 16 cases de telle façon que **tous** les chiffres hexadécimaux de 0 à F (0 à 9 et A à F) n'apparaissent **qu'une seule et unique fois** dans chaque rangée, colonne et carré de 4 x 4 cases (délimités par un filet gras).

Certains chiffres, déjà placés dans la grille, en définissent la situation de départ.
Pour participer, inutile de nous envoyer toute la grille, il suffit de nous donner **la série de chiffres** sur fond grisé.

Participez et gagnez !
Nous tirons au sort **cinq** des réponses internationales correctes reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront chacun un bon d'achat Elektor d'une valeur de **50 €**. À vos crayons !

Où envoyer votre réponse ?
Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **27 janvier 2020** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de novembre/décembre 2019 est **DB072**.
Les cinq bons Elektor d'une valeur de **50 €** vont à : Martin Bratko (Tchéquie), Volker Treiber (Allemagne), Arjen de Rijke (Pays-Bas), Jean-Pierre Demangeon (France) et Alexandr Papazyan (Russie).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

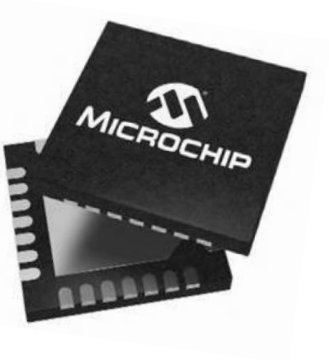
E			A		3	6			0	8		F			D
B	5					D			9					A	1
8	0	6	7									9	C	E	3
9	E	A	1	6	0					5	7	4	B	D	2
2	B	7	F	9	D					3	4	0	E	6	5
C	6	4	0	1	A					D	E	3	F	7	8
5	3	8	D	E	2	4			F	0	6	1	9	C	A
3	F	1	E	7	5	C			B	9	0	A	D	2	4
6	7	0	5	2	8					4	A	C	3	F	9
4	2	C	B	D	9					1	3	6	0	8	E
A	D	9	8	3	E					C	F	5	1	B	7
7	9	F	4									8	5	1	0
D	8					9			5					4	F
0			2		B	3			D	6		E			C

3	C	9	6	7	D	1	5	B	E	2	8	0	F	4	A
0	A	7	D	2	4	B	6	1	9	C	F	3	E	8	5
5	B	4	F	E	8	9	3	D	0	7	A	1	6	C	2
8	E	1	2	F	A	C	0	3	4	6	5	B	7	9	D
4	3	5	9	1	E	6	F	0	8	D	B	2	A	7	C
6	F	A	E	D	B	0	7	2	3	4	C	8	9	5	1
1	7	8	B	3	2	4	C	E	A	5	9	F	D	0	6
C	D	2	0	5	9	8	A	F	6	1	7	E	B	3	4
9	8	B	C	4	0	E	2	7	5	A	6	D	1	F	3
D	5	3	A	6	C	F	9	4	1	E	2	7	8	B	0
7	0	E	4	A	1	3	B	8	C	F	D	5	2	6	9
F	2	6	1	8	5	7	D	9	B	0	3	4	C	A	E
A	1	D	5	9	F	2	8	C	7	3	4	6	0	E	B
B	4	0	7	C	6	A	E	5	2	8	1	9	3	D	F
E	6	F	8	B	3	5	1	A	D	9	0	C	4	2	7
2	9	C	3	0	7	D	4	6	F	B	E	A	5	1	8

Tout recours est exclu, de même que le sont, de ce jeu, les personnels d'Elektor International Media et leur famille. Un seul gagnant par foyer.

Connectez-vous

Se connecter au monde, avec et sans fil



Vous résolvez bien assez de problèmes au jour le jour. Microchip le sait bien ; c'est pourquoi nous facilitons l'ajout de la connectivité à vos systèmes. Que vous ayez besoin d'une connexion filaire robuste et fiable, ou des avantages de la mobilité et de l'ergonomie du sans fil, le vaste portefeuille de Microchip vous aidera à vous connecter.

Pour vous faciliter encore plus la tâche, nos microcontrôleurs et microprocesseurs sont conçus pour être compatibles avec nos composants filaires et sans fil. Nous pouvons de plus vous aider à commercialiser vos systèmes plus rapidement grâce à nos modules certifiés et à nos piles de protocole prêtes à être utilisées.

Connectez-vous avec Microchip et apprenez à vous connecter en toute sécurité au monde qui vous entoure.

SMART | CONNECTED | SECURE

Connectez-vous sur
www.microchip.com/Connected

MICROCHIP

Le nom et le logo de Microchip ainsi que les logos de Microchip sont des marques déposées de Microchip Technology Incorporated aux États-Unis et dans d'autres pays. Toutes les autres marques commerciales ci-dessus mentionnées sont la propriété exclusive de leurs propriétaires respectifs.
© 2019 Microchip Technology Inc. Tous droits réservés. DS00002768A. MEC2231A-FRE-11-19

2ew20P
Votre e-code pour l'entrée gratuite
embedded-world.de/voucher

Nuremberg, Allemagne
25 – 27.2.2020

embeddedworld
Exhibition&Conference
... it´s a smarter world

DÉCOUVRIR LES INNOVATIONS

Plus de 1 000 entreprises et plus de 30 000 visiteurs venant de 84 pays – c'est là que se rencontre le monde de l'embarqué.

Soyez présent ! Réservez dès maintenant votre billet gratuit !

Votre e-code pour l'entrée gratuite : 2ew20P

embedded-world.de/voucher

@embedded_world #ew20 #futurestartshere

Organisateur du salon
NürnbergMesse GmbH
T +49 9 11 86 06-49 12
visitorservice@nuernbergmesse.de

NÜRNBERG MESSE